

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

佳作

082909

膜範生機

學校名稱：苗栗縣頭份市頭份國民小學

作者： 小五 張永錕 小五 溫啟翔 小五 陳亞蕎	指導老師： 徐幸君 羅偉仁
---	-----------------------------

關鍵詞：薄膜農業、海藻酸鈉、細菌纖維素

摘要

以校園生活中看到的現象，借鏡日本薄膜農業經驗，在試錯過程中，找到便宜、易取得、製作時間短的薄膜，從中發展備製海藻酸鈣膜及細菌纖維膜(菌膜)的標準流程。測耐水性及耐候性可達 1 個月仍可再使用，海藻酸鈣膜及菌膜耐重性可達 2400~2480 及 490~870 公克重量，菌膜可在一個月期間埋在土壤中分解完畢；海藻酸鈣膜膜厚愈薄，愈容易被分解，預測時間拉長到 3 個月以上可以完全分解。

利用這兩種膜來種植黃豆及小白菜，成功讓植物根系牢牢抓住菌膜，以發酵 7 天的菌膜及添加 350 及 400 毫升海藻酸鈉的薄膜生長速度最好。利用實驗的成功經驗，在學校食農農場露天種植豌豆、黃豆成功在 15 天內長高 13~17 公分及 5~7 公分；其成果也讓學校老師帶著學弟妹到我們的實驗農場教學參觀。

壹、前言

一、研究動機

上自然課時看到四年級學弟妹為觀察植物生長過程而種植好幾種不同植物，澆水時常因給水過多，把地板用的濕答答或是把植物渴死的情形。激發我們另一層思考：試想是否有更省水的懶人方法？詢問老師後，提供了日本早稻田大學森 有一教授開發的”**薄膜農業**”資訊，發現這種不用土壤又省水的逆境生長法。

並試想我們是否可以找到更便宜、更友善環境的薄膜來取代森 有一教授的水凝膠**薄膜**，並嘗試種植生長期短的植物；植物收成後，**薄膜**可以直接丟棄被土壤分解，從可能是農業廢棄物轉而變成土壤的一部份，也不需考慮薄膜移除回收的問題，實現循環經濟的可能。

但是考量到經費問題，並相比對 森 有一教授在原本自身醫療背景下研發具有專利的水凝膠膜，我們的經費是少之又少；所以，在此前提下尋找**材料便宜、易取得、容易製備、製做時間短、製做方法簡單、快速運用的兩個原材料 - 海藻酸鈉加氯化鈣及細菌纖維膜**來製做薄膜。另外，也希望在實驗過程得到驗證後實際**結合學校食農教育農場**，並達到我們這次題目最重要的目的”**膜範生機**”。

二、目的

- (一) 目的— 製備平整海藻酸鈣薄膜的流程
- (二) 目的二 反應物容量對海藻酸鈣薄膜厚度影響及乾燥過程之變化
- (三) 目的三 海藻酸鈣薄膜的耐性測試
- (四) 目的四 發酵時間與細菌纖維薄膜厚度之關係
- (五) 目的五 細菌纖維薄膜的耐性測試
- (六) 目的六 海藻酸鈣薄膜及細菌纖維薄膜種植植物生長情形
- (七) 目的七 模擬 / 結合學校食農教育

三、文獻回顧

去年學校開闢了一小塊土地為食農教育農場，看到班級認養或教學實驗所種植的蔬菜常被鳥蟲啃食、學生踩踏或澆灌錯誤，所以收成往往不太好；又因場地空間有限，甚至往上架高爭取空間；因此希望藉由薄膜農業的構想，找到其它低成本、製做過程快速簡單、易被土壤分解、更符合循環經濟理念的薄膜來取代薄膜農法中的水凝膠膜，在尋找了相關歷屆科展相關作品、youtube 影片、google、學術文章、網路文章、專利文章等相關主題研究，將各研究相關整理如下：

表 1.相關研究整理表格

相關研究/報導/文章	主要研究結果/內容
薄膜農業	
youtube 影片 【消失的國界】不用土壤也能耕作！日本人搶購「薄膜農法」神奇番茄 ^[1]	蕃茄在培養液只有傳統的 1/3 下，根部會長出很多細根來「逆境求生」，不僅節省水源不需土壤，也能讓品質更好。
海藻酸鈣膜	
中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書 Ooho! 「內」個「膜」法-凝膠薄膜性質之探討 ^[2]	以過去做成水球狀之 Ooho 改成平面薄膜，反應時間 10 分鐘可得較平整的薄膜。
中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品說明書 探囊取水-探討雙層膜水膠囊的製作方法、保存方法與各項測試 ^[3]	以 1% 海藻酸鈉水溶液所製膠囊之重力、耐拉力及耐摔力表現最佳，在空氣中經 30 天可分解至僅剩 3.7%。
中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書	海藻酸鈉與鈣離子反應製成膠球與膠條

不「球」「滲」「解」 ^[4]	時可進行基本的滲透實驗。
全國高級中等學校專業群科 109 年專題及創意製作競賽「創意組」作品說明書 鑽炭膠粒 ^[5]	育苗改良型的膠炭粒研發可直接結合播種及扦插，定型好的藻膠炭粒風乾 2 天即可長久保存。
細菌纖維素	
WIKIPEDIA Bacterial cellulose ^[6]	細菌纖維素因有其生物降解性、保水性、親水性、保水性可通過擴散提供營養，常應用在醫療敷料、電子紙、面膜、食品。
專利申請說明書 細菌纖維素可食性包裝產品及其生產方法 ^[7]	可使用 0.1~10%NaOH 鹼處理去除酵母菌及其它雜質。
youtube 影片 Growing Microbial Cellulose ^[8]	細菌纖維素成膜後需用肥皂水清洗膜上的雜質。
中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書 紅茶會「酵」?- 紅茶菌生長及其應用性之研究 ^[9]	紅茶菌生長的白色纖維素，以 5%NaOH 溶液煮滾 3 次可完全脫色；膜厚越大承受拉力越大；濕菌膜的吸水性比乾菌膜好。

(一) 海藻酸鈉

海藻酸鈉 (NaAlg) 是存在於海洋褐藻細胞中的天然植物多醣，分子式是 $C_5H_7O_4COONa$ (圖 1)，廣泛套用於食品、醫藥、紡織、印染、造紙、日用化工等產品。海藻酸很容易與一些二價陽離子結合，形成凝膠，其溫和的溶膠凝膠過程中羧基(COO)與二價陽離子結合，如:當海藻酸鈉溶液與氯化鈣反應時，鈣離子(Ca^{2+})會取代海藻酸鈉羧基上的鈉離子(Na^{+})，並且抓住海藻酸鈉分子間的羧酸離子，使得分子間的聯結性更強 (圖 2)。此交聯作用(cross-linking)使分子更為固定，流動性降低而固化呈半透膜狀^[10]。

反應方程式如下 $2NaAlg + CaCl_2 \rightarrow CaAlg_2 + 2NaCl$

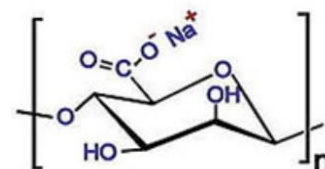


圖 1.海藻酸鈉分子式

圖片來源：國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系 科學遊戲實驗室 化學粉圓與麵條^[10]

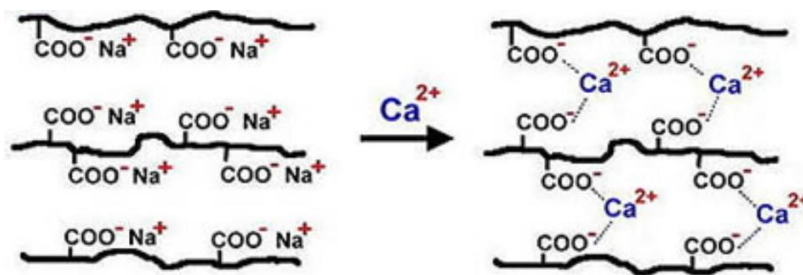


圖 2.海藻酸鈉與鈣交聯反應形成的網狀結構

圖片來源：國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系 科學遊戲實驗室 化學粉圓與麵條^[10]

(二)細菌纖維素(Bacterial cellulose BC)

細菌纖維素是一種有機化合物（圖 3），分子式為 $(C_6H_{10}O_5)_n$ （圖 4），是大多數植物的基本結構材料，但也可細菌產生，主要是醋酸菌、乳酸菌、酵母菌等組成。

細菌纖維素的合成是一個多步驟過程，涉及兩個主要機制尿苷二磷酸葡萄糖(UDPGlc)的合成，通過纖維素合酶將葡萄糖聚合成長鍊和無支鏈（ β -1 \rightarrow 4 葡聚糖鏈）。細菌纖維素具有更多的結晶結構，並形成特徵性的帶狀微纖維，微纖維聚集形成束，然後形成“帶”，纖維素的超細帶形成緻密的網狀結構（圖 5），是一種天然的納米材料的”海棉”，並具有良好的生物安全性和可降解性；也發現了發酵時間和營養環境是決定細菌纖維素產出率的兩個重要因素^[14]。

其中多孔結晶結構、親水性、保水性、凝膠性、完全不能被人體消化的特性，使得具有許多特性如而廣泛應用在食品（椰果、康普茶、增稠劑、減肥代餐食品^[14]等）、醫療（傷口敷料、合成血管、眼膜^[14]）、商業（電子紙、濾膜、衣服）、工業等等^[11]。



圖 3.從培養物中取出的濕纖維薄膜

圖片來源：WIKIPEDIA Bacterial cellulose^[6]

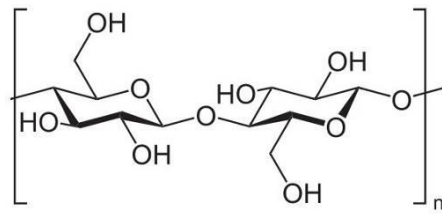


圖 4.纖維素的化學結構

圖片來源：WIKIPEDIA Bacterial cellulose^[6]

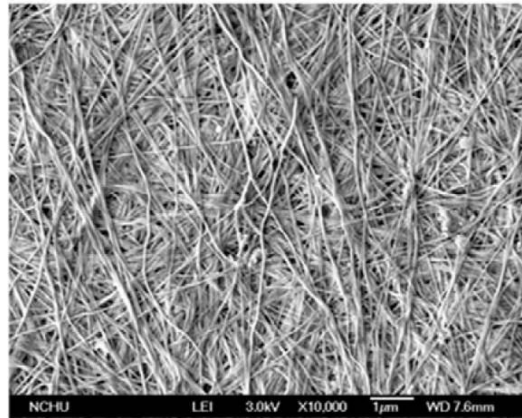


圖 5.穿透式電子顯微鏡下的菌膜結構

圖片來源：紅茶會「酵」?- 紅茶菌生長及其應用性之研究，中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書，第 15 頁

貳、研究設備及器材

- 一、器材** 玻棒（長度 25 公分）、酒精溫度計（-20~105 ℃）、燒杯（500 mL）、藥匙、秤量紙（12*12 公分）、攪拌子（長 3 公分，直徑 0.8 公分）、不鏽鋼淺盤（48.6*33*2.5 公分）、有洞育苗盤（49.5*29*6.5 公分）、圓形透明塑膠淺盤（直徑 10.5 公分*深 1.5 公分）、長方形透明塑膠淺盤（長 26 公分*寬 16 公分）、塑膠噴瓶（500 mL）、鐵尺（30 公分）
- 二、藥品** 海藻酸鈉（帝一化工，1 公斤袋裝）、氯化鈣（帝一化工，500 公克瓶裝）、98% 氫氧化鈉（帝一化工，500 公克瓶裝）、麥香紅茶（怡和茶業，100 公克袋裝）、二砂糖（台糖，1 公斤袋裝）、75%酒精（派頓，4000 mL 瓶裝）、培養土（福壽牌 10 公斤）、碗豆種子（產地 澳洲）、小黃豆種子（產地 美國）、青梗白菜種子（產地 美國）、羽衣甘藍種子（產地 美國）、小白菜種子（產地 臺灣）

三、設備

表 2.實驗使用設備列表

			
恆溫磁力攪拌器	電子式游標尺	數位式測厚計	小電子秤
型號 85-2 測量範圍 0-2400 rpm 0-80°C	型號 無 測量範圍 0-150 毫米	型號 MET-DTG 測量範圍 0-12.7 毫米	型號 I-2000 測量範圍 0.01-500 g 5-35°C
			
大電子秤	pH 計	計時器	自製測拉力裝置
型號 SF-400A 測量範圍 0-5000 公克 5-35°C	型號 pH Meter 測量範圍 0-14 毫米 (0-60°C)	型號無 測量範圍 計分及秒	型號無 測量範圍 0~2.5 公斤

註：原本利用學校槓桿教具製作了測量拉(重)力裝置(圖 6)，實際測量時膜的耐拉力超出裝置的範圍，所以全部加以改良成(圖 7)。



鐵條及裝砝碼盒子無法承重 500 克以上

圖 6.第一代測耐拉重量裝置



改成直徑 1.8 公分木條，可承載最大約 2.5 公斤

因砝碼不夠用，直接放石頭，最後量測含塑膠桶重量

圖 7.改良後測耐拉重量裝置

參、研究過程或方法

一、研究架構

問題產生：學校食農農場及學弟妹課程種植植物情況不良
思考
假設：是否可以找到更便宜、快速...且不用土壤又省水的耕種方式？

詢問老師
搜尋歷屆科展說明書
找尋網路相關資料

薄膜農業

腦力激盪：造紙方式、涼皮製作

腦力激盪：水性凝膠、人造皮革、椰果...

探找適合的薄膜種類

海藻酸鈉 + 氯化鈣

細菌纖維素

參考文獻並尋找合適的製膜方式⁽²⁾

購買網友預先製作的菌膜及菌種原液依照比例(單位:克)製作：
紅茶水(水:糖:紅茶):原液:菌膜
1000(1000:100:10):400:100

- 經過屢次修改
- ①製膜容器
- ②反應物濃度
- ③脫膜技巧

製作含菌種的“啟動液”備用

目的—

目的二

目的三

目的四

目的五

製備平整海藻酸鈣薄膜的流程

反應物容量對海藻酸鈣薄膜厚度影響及乾燥過程之變化

海藻酸鈣薄膜的耐性測試

發酵時間與細菌纖維薄膜厚度之關係

細菌纖維薄膜的耐性測試

兩種薄膜對植物生長影響

海藻酸鈣薄膜

細菌纖維薄膜

目的六

形 植 維 膜 海
物 薄 薄 及 藻
生 膜 膜 細 酸
長 種 種 菌 鈣
情 植 植 纖 薄



目的七：模擬 / 結合學校食農教育

二、研究過程或方法

(一) 目的一 製備平整海藻酸鈣薄膜的流程

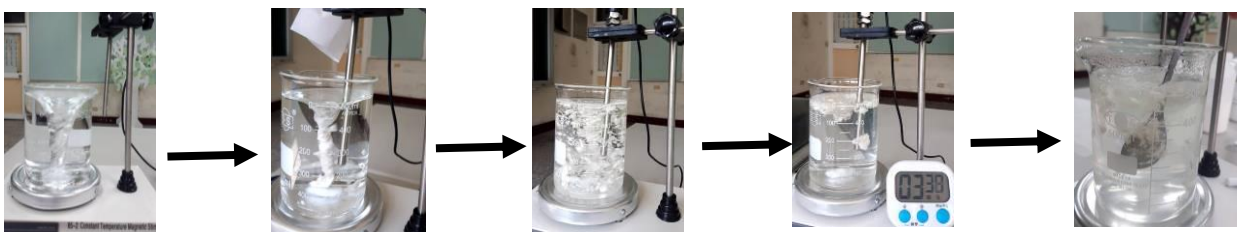
【研究構想】

日本 森 有一教授研發的薄膜農業中所使用是具有專利佈滿奈米級小孔水凝膠膜，造價昂貴且須從日本採購，這種高吸水性的水性塑膠材料使用後需移除覆膜，雖然燃燒不產生有毒氣體，放入 90°C 熱水可溶解，但實際重新再製生產目前仍在尋找方法。在這個大前提下，我們尋找到製作 Ooho 水球的海藻酸鈣凝膠，這種生物可降解的替代材料也應該如可以取代一次塑料瓶一樣取代水凝膠膜；在參考了歷屆科展說明書，得知海藻酸鈣凝膠可讓大多數離子通過^[4]，在對其耐力測試及環保減塑部份^[3]這些基礎了解下，研究製備平整海藻酸鈣薄膜的實驗。

【實驗步驟】

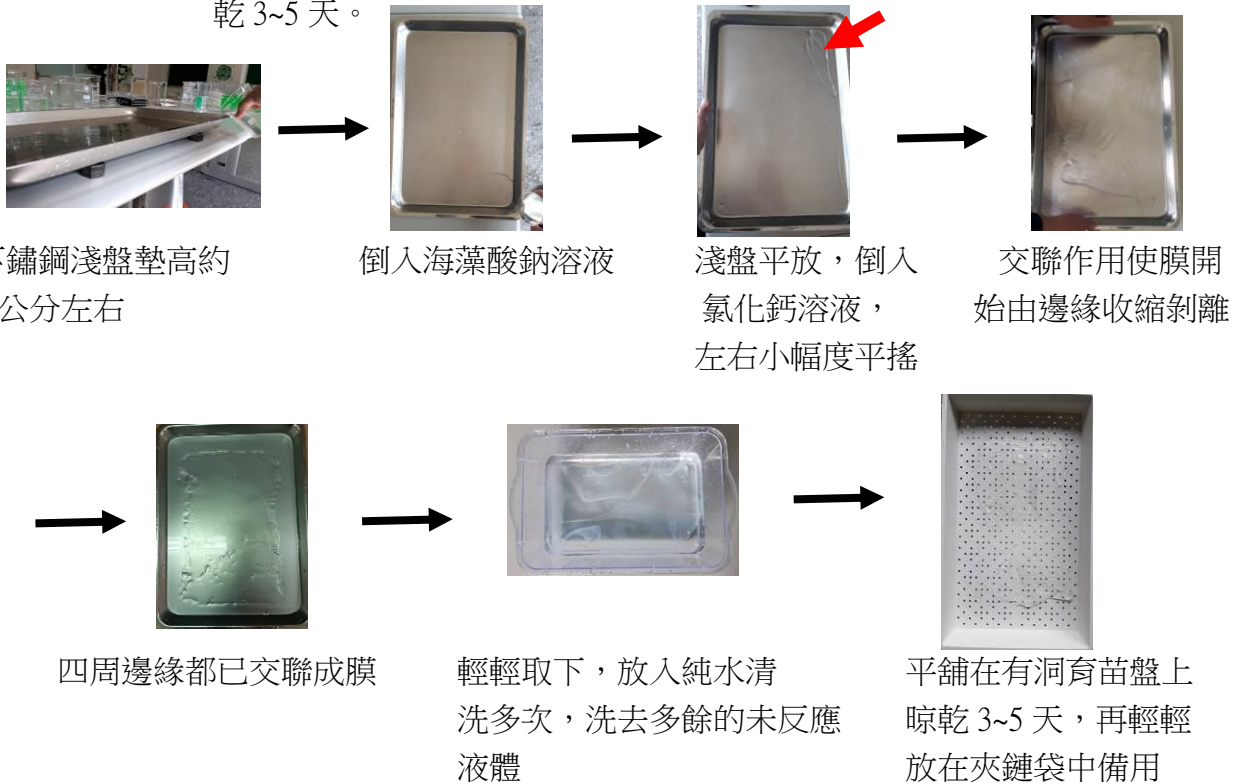
變 因	因實驗一旨在建立製膜的標準流程，所有變因皆為固定
控 因	實驗溫度、反應物量、反應時間、模型大小及傾斜角度、倒入氯化鈣角度、搖晃時間幅度、脫模時間、純水沖洗時間、膜晾乾條件

1. 配製 1%海藻酸鈉溶液：取 495 克 80°C 純水放入攪拌子，先放在恆溫磁力攪拌器上定溫 80°C^[12]並啟動最大轉速攪拌(形成水龍捲)；把 5 克海藻酸鈉粉末倒入水龍捲中心[註 1]，持續攪拌直到粉末完全溶解；放置等待降至室溫備用。



開啟最大轉速攪拌，形成水龍捲	水龍捲中倒入粉末	粉末分散狀況	約 3 分半後粉末結塊浮在表面	用湯匙背面壓碎粉末，重覆動作，直到完全溶化
----------------	----------	--------	-----------------	-----------------------

2. 配製 5% 氯化鈣溶液：取 475 克常溫純水，加入 25 克氯化鈣粉末，攪拌溶化備用。
3. 在乾淨的不鏽鋼淺盤中先倒入 10 毫升氯化鈣溶液均勻潤濕底部表面及周邊壁面至高度 1 公分。
4. 不鏽鋼淺盤墊高約 2 公分(使用六角螺絲墊高)，沿長邊緣固定速度左右移動倒入海藻酸鈉溶液 500 毫升，左右傾斜使海藻酸鈉平整分佈淺盤中；再沿四邊倒入氯化鈣溶液 500 毫升，抬起淺盤左右小幅度平搖，約 5 分鐘後再取出海藻酸鈣膜，用純水沖洗 3 次，再平舖在有洞育苗盤上，陰涼通風處晾乾 3~5 天。



註 1：後續修改時，發現海藻酸鈉粉末倒入水龍捲中心與燒杯內壁中間，剪切力最大；後續實驗修改為粉末倒入水捲中心與內壁中間。

註 2：製膜過程判斷交聯完成，主要觀察四周薄膜收縮並剝離淺盤邊緣，淺盤底部墊 2~3 個同一直徑大小的木頭圓柱，用手平搖淺盤時薄膜可移動。



註 3：如要連續製膜，只要移除淺盤表面殘留海藻酸鈣薄膜及殘留未反應液體，即可再度倒入海藻酸鈉溶液。

(二) 目的二 反應物容量對海藻酸鈉鈣薄膜厚度影響及乾燥過程之變化

【研究構想】

開始製備海藻酸鈣膜時，發現在一開始倒入海藻酸鈉或氯化鈣溶液，有些同學可以把 500 毫升倒完，有些會剩下，但晾完後還是可以成膜。所以，就想測試是否可以在最低成本下成膜的反應物容量。

【實驗步驟】

變因	海藻酸鈉：氯化鈣 = 1 : 1 (250、300、350、400、450 毫升)
控因	5%及氯化鈣、實驗溫度、反應時間、模型大小及傾斜角度、倒入氯化鈣角度、搖晃時間幅度、脫模時間、純水沖洗時間、膜晾乾條件

1. 分別取海藻酸鈉容量 250、300、350、400、450 毫升依照實驗一步驟分別加入 5%及氯化鈣 250、300、350、400、450 毫升；陰涼通風處晾乾 3~5 天後觀察顏色、外觀、面積收縮率、平均膜厚。
2. 每一實驗變因組合，共做 3 次，所得結果也是 3 次平均。
3. 長及寬的值是量左、中、右及上、中、下的值來平均。

註 1：純水沖洗 2 次後的膜先用廚房紙巾大略吸乾表面水份，平鋪有洞育苗盤上並量測長寬計算面積，再量乾燥 3 天後量測長寬計算面積，依下列公式得面積收縮率%：

$$\text{面積收縮率} = \frac{\text{乾燥前薄膜面積} - \text{乾燥後薄膜面積}}{\text{乾燥前薄膜面積}}$$

註 2：膜厚度量測位置如右(圖 8)

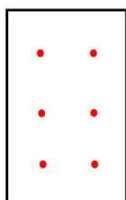


圖 8.膜厚度量測位置

註 3：乾燥前的海藻酸鈣膜因含水量很高，而且用手壓有彈性，使用數位式測厚計時，會因測量桿的推擠而使膜厚測量有誤差，所以改用電子式游標尺測量；乾燥後的海藻酸鈣膜則統一使用數位式測厚計。

(三) 目的三 海藻酸鈣薄膜的耐性測試

【研究構想】

因製作出來的膜是利用來取代水凝膠膜，所以其耐水性、耐拉(重)性、土壤可分解性、耐候性會是我們真正實際利用時考量的重點。

【實驗步驟】

1. 耐水性：取一張乾燥後薄膜浸泡水中 1 個月(1/30~2/28)觀察顏色外觀變化。
2. 耐拉(重)性：把海藻酸鈣膜裁成 2*5 公分面積，再利用自製的測試工具量測 3 次平均。
3. 土壤可分解性：把海藻酸鈣膜裁成 5*5 公分面積(2 組重複)，分別放在裝有 5 公分厚培養土上，拍照紀錄後覆上 5 公分厚的培養土，1 個月(1/30~2/28)後再取出拍照觀察。
4. 耐候性：把海藻酸鈣膜裁成 2*5 公分面積(2 組重複)，分別用釘書機固定在不織布，並吊在教室窗戶旁可受風吹日曬處觀察 1 個月(1/30~2/28)的前後狀態。

(四) 目的四 發酵時間與細菌纖維薄膜厚度之關係

【研究構想】

利用網路找查其它可利用的薄膜的同時，我們也喝著百香雙響炮飲料，咬到椰果的同時，我們也好奇椰果這種材質是否也可以利用來當成實驗的薄膜？

繼續上網找尋，發現國外有許多資料是拿來當成人工皮革，也有更多文獻說明利用其滲透性及保水性當人工血管或燙傷敷料。在此基礎下，我們利用指導老師有製做水果酵素的經驗基礎，在網路上先購買製作”康普茶”的紅茶菌種原液及菌膜自行培養；依照賣家提供製作比例先行培養自己的菌液及菌膜後，發現冬天寒流來臨，在室溫只有 23°C 仍可以在 7 天內培養出 0.5 公分厚度的菌膜。所以，在試作成功率近百分百的鼓舞下，來研究發酵時間與薄膜厚度的關係。

【實驗步驟】

變因	發酵時間(天數): 4 天、5 天、6 天、7 天
控因	室溫 24°C、紅茶水濃度、紅茶菌種原液容量、發酵容器(含蓋整理)

箱)、加入菌膜重量

1. 配製紅茶水：依照純水：二砂糖：紅茶（1000 克：100 克：10 克）比例，先把純水煮沸加入二砂糖及紅茶，轉小水繼續煮 5 分鐘後關火，放至室溫降溫備用。
2. 依紅茶水：紅茶菌種原液：菌膜（1000 克：700 克：100 克）比例倒入有蓋整理箱中（預先用酒精消毒），上面再覆蓋乾淨已消毒的胚布，再蓋上蓋子。
3. 在發酵第 4 天、5 天、6 天、7 天時，小心取出細菌纖維素，先使用純水清洗 2 次，再用 1 M 的氫氧化鈉溶液小火煮沸 20 分鐘，再用純水反覆沖洗。
4. 攤開平舖在桌面上觀察外觀並量測乾燥前膜的長、寬及膜厚。
5. 每一實驗變因組合，共做 3 次，所得結果也是 3 次平均。
6. 長及寬的值是量左、中、右及上、中、下的值來平均。

註 1：製膜後的發酵液就是含菌種原液（網友也稱啟動菌液），可再加入水果製成二次發酵的水果康普茶，或加紅茶水再續生菌膜（網友也稱茶菌膜）。

註 2：1 M 氫氧化鈉溶液配制：取 40 克氫氧化鈉放入 1 公升純水中，攪拌完全溶化並降溫至室溫。

註 3：我們本次使用的是由乳酸菌、醋酸菌、酵母菌等組成的共生複合體，其中紅茶提供菌類生長所需的礦物質與茶鹼，糖提供能量。乳酸菌把糖代謝成葡萄糖、酵母菌把葡萄糖代謝成酒精、醋酸菌再把酒精代謝成醋酸；收成後的菌膜經測量 pH 值達 2.24，所以必須經過鹼處理中和菌膜。

註 4：以下使用菌膜這個稱呼代替細菌纖維薄膜。

(五) 目的五 細菌纖維薄膜的耐性測試

【研究構想】

接續著上一個實驗，我們想知道我們生產出來的菌膜耐水性、耐拉(重)性、土壤可分解性、耐候性是否可以應用取代水凝膠膜？另外生產菌膜需要時間，當所需菌膜被取出，為維持菌液活性會另外加入紅茶水可以再繼續製造菌膜，但取出的菌膜保存方法為何？

【實驗步驟】

1. 耐水性：取一張乾燥後的菌膜浸泡水中 1 個月(1/30~2/28)觀察顏色外觀變化。
2. 耐拉(重)性：把菌膜裁成 2*5 公分面積，再利用自製的測試工具量測 3 次平均。
3. 土壤可分解性：把菌膜裁成 2*5 公分面積(2 組重複)，分別放在裝有 5 公分厚培養土上，拍照紀錄後再覆上 5 公分厚培養土，1 個月(1/30~2/28)後再取出拍照觀察。
4. 耐候性：把菌膜裁成 2*5 公分面積(2 組重複)，分別用釘書機固定在不織布，並吊在教室窗戶旁可受風吹日曬處觀察 1 個月(1/30~2/28)的前後狀態。

(六) 目的六 海藻酸鈣薄膜及細菌纖維薄膜種植植物生長情形

【研究構想】

經過薄膜的製作及耐性測試後，我們直接拿薄膜取代土壤種植蔬菜，為後續結合食農教育農場預先做前導實驗。前期規劃實驗時，有嘗試與臺灣與日本薄膜農業 Mebiol 公司合作的溫室聯繫，但因該溫室已經無營業，無法取得水凝膠薄膜來當成對照組；最後，使用化妝棉來當成對照組。

【實驗步驟】

1. 分別取海藻酸鈣薄膜及菌膜裁切成直徑 13 公分的圓形，把已發芽 5 棵種子直接放到薄膜上，薄膜再放到裝有 80 毫升純水的圓形透明塑膠淺盤上（水位高度 1 公分），周圍用長尾夾固定，觀察 2 週植物生長狀況。
2. 另一對照組（水耕），則用化妝棉取代薄膜。
3. 選取豆類：黃豆、十字花科：青梗白菜這兩種蔬菜，觀察每 2 日生長速度，2/24~3/10 共 15 天。

註：因使用一般鐵尺測量(不含根)植物高度，可讀取數值只到小數點後 1 位；故植物生長速度數值取到小數點後 1 位。

(七) 目的七 模擬 / 結合學校食農教育

【研究構想】

經過實驗室製造、測試及試種植物的過程，最後需要實際利用在日常生活；賦與作品從學術研究走入生活實際應用的價值。

【實驗步驟】

1. 在食農教育農場預選場地，先挖一約 15*7*5 公分大小的凹洞，鋪上塑膠布，放入水後，再把我們製造的海藻酸鈣薄膜或菌膜覆上，薄膜上直接放入已預先泡水並已發芽的種子，周邊圍好塑膠布防止蟲鳥及同學踩踏誤入。
2. 觀察 15 天 (3/10~3/24) 生長情形。

肆、研究結果

一、 目的— 製備平整海藻酸鈣薄膜的流程

表 3. 製作海藻酸鈣膜過程發現及修正說明後的結果

發現	說明及修正	結果
海藻酸鈉結成大粉塊，需花很長時間攪拌溶化	<p>因海藻酸鈉粉末表面張力原因，粉末直接倒入常溫純水中會形成大粉塊，非常不好溶解。所以，經過多次嘗試後，發現把純水溫度調高到 80°C，並直接把粉末倒入水龍捲中心，利用旋轉的力量把大塊粉末拉扯成小塊，攪拌器攪拌約 3.5 分鐘後再輔以湯匙背壓碎粉末，直到看不到白色粉末團塊及透明膠塊狀為止。實測平均製備 1% 500 毫升海藻酸鈉溶液，只需 20 分鐘左右。</p> <p>註：後續修改時，發現海藻酸鈉粉末倒入水龍捲中心與燒杯內壁中間，剪切力最大；後續實驗修改為粉末倒入水捲中心與內壁中間。</p>	  <p>產生水龍捲</p> <p>粉末倒入水龍捲中</p>   <p>大塊粉末團</p> <p>切割成小塊</p> <p>用湯匙背壓碎粉團</p>
海藻酸鈉及氯化鈣濃度	<p>查詢其它作品說明書，有海藻酸鈉 1~5% 及氯化鈣 0.1~5% 的建議^{[5][12][13]}。發現添加 2% 海藻酸鈉以上溶化時間需要很長，先以成本考量(海藻酸鈉 1.06 元/克，氯化鈣 0.12 元/克)，所以，先選定 1% 海藻酸鈉；另考量縮短反應時間，一開始選定 5% 氯化鈣。</p>	<p>倒入氯化鈣的同時表面就交聯成膜</p> 

<p>成膜不規則形狀</p>	<p>一開始，因經費問題，所以先使用塑膠淺盤當成模型，但發現倒入海藻酸鈉時，會因海藻酸鈉的溶液表面張力較大，所以不能均勻的分佈在塑膠淺盤的每一區域，導致交聯後形成的海藻酸鈣膜也是非常不平整，形狀也不是長方形的膜。</p> <p>後來改成不銹鋼淺盤，並在每一次做實驗前都用洗碗精仔細把表面的污垢髒污刷乾淨，直到水膜均勻平整覆蓋在表面，此時不管海藻酸鈉或氯化鈣溶液都可以均勻的附著在不銹鋼淺盤表面上。</p>	 <p>海藻酸鈉或氯化鈣溶液都不能均勻覆蓋在塑膠淺盤</p>  <p>海藻酸鈉或氯化鈣溶液都能均勻覆蓋在不銹鋼淺盤上</p>
<p>交聯成膜時間過長</p>	<p>一開始嘗試靜置 20 分鐘^[12]，發現因只有表面成膜，底部的海藻酸鈉無法與氯化鈣交聯，膜緊黏不銹鋼淺盤表面；後來改以①先倒入 10 毫升氯化鈣均勻附著在表面，再把多餘的氯化鈣倒出（否則在氯化鈣聚集處易形成水球），②氯化鈣倒入後，左右輕搖淺盤，使氯化鈣更容易流到盤子底部，使上下表面成膜，也藉搖晃的力量使海藻酸鈣脫模。</p>	 <p>兩手握住淺盤兩邊，前後左右平搖，藉著搖的動作使氯化鈣沖入膜下層而交聯成膜。</p>

二、 目的二 反應物容量對海藻酸鈣薄膜厚影響及乾燥過程之變化

表 4. 乾燥前後海藻酸鈣薄膜厚的變化 (精確度：小數點後 2 位)

膜種類	乾燥前後/日 製作日期	平均膜厚 (毫米)	平均長度 公分)	平均寬度 (公分)	平均面積 (公分 ²)	面積收縮率 (%)
250 mL 海藻酸鈉 +250 mL 氯化鈣	乾燥前 1/3	0.62	35.52	23.26	826.19	大 26.08%
	乾燥後 1/6	0.03	33.41	18.28	610.73	
300 mL 海藻酸鈉 +300 mL 氯化鈣	乾燥前 1/3	0.58	34.24	20.96	717.67	24.58%
	乾燥後 1/6	0.07	31.59	17.13	541.13	
350 mL 海藻酸鈉	乾燥前 1/3	1.06	35.10	18.28	641.63	16.64%

+350 mL 氯化鈣	乾燥後 1/6	0.06	32.7	16.36	534.97	↓ 14.30%
400 mL 海藻酸鈉	乾燥前 1/4	1.06	36.04	20.63	743.50	
+400 mL 氯化鈣	乾燥後 1/7	0.06	34.09	18.69	637.14	小 11.41%
450 mL 海藻酸鈉	乾燥前 1/4	0.91	33.13	17.52	580.44	
+450 mL 氯化鈣	乾燥後 1/7	0.07	32.08	16.03	514.24	

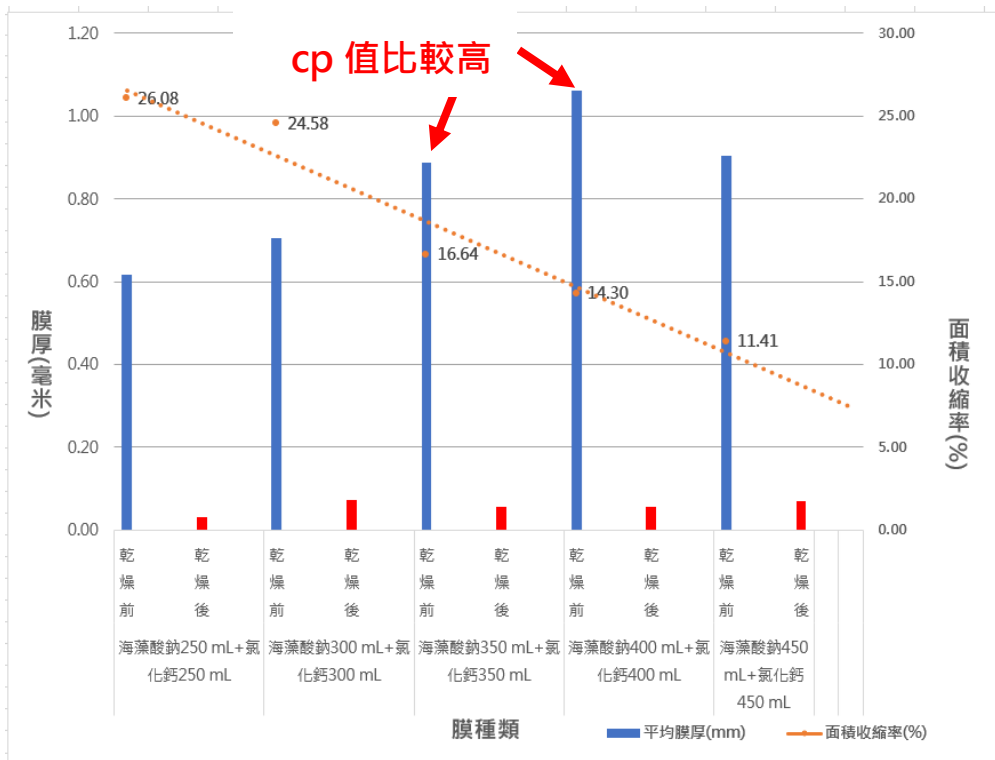

















圖 9.乾燥前後海藻酸鈣薄膜厚的變化

三、 目的三 海藻酸鈣薄膜的耐性測試

(一) 耐水性

表 5.海藻酸鈣薄膜耐水性測試前後整理

膜種類	浸泡前	浸泡中	浸泡後
250 mL 海藻酸鈉 + 250 mL 氯化鈣			
外觀描述	乾時質地柔軟	呈現透明，質地柔軟	濕時質地柔軟，乾燥後較硬

300 mL 海藻酸鈉 + 300 mL 氯化鈣			
外觀描述	乾時質地柔軟	呈現透明，質地柔軟	濕時質地柔軟，乾燥後較硬
350 mL 海藻酸鈉 + 350 mL 氯化鈣			
外觀描述	乾時質地柔軟	呈現透明，質地柔軟	表面變皺，乾燥後較硬
400 mL 海藻酸鈉 + 400 mL 氯化鈣			
外觀描述	乾時質地柔軟	呈現透明，質地柔軟	表面變皺，膜外型縮小
450 mL 海藻酸鈉 + 450 mL 氯化鈣			
外觀描述	膜呈白色	呈現透明，質地柔軟	膜外型明顯縮小，顏色變透明微黃，硬脆

(二) 耐拉(重)性

表 6.海藻酸鈣薄膜平均耐拉重量 (精確度：小數點後 2 位)

反應物容量	膜耐拉重量 (公克)	平均耐拉重量 (公克)
250 mL 海藻酸鈉+ 250 mL 氯化鈣	1 549.50	683.53
	2 771.10	
	3 730.00	
300 mL 海藻酸鈉+ 300 mL 氯化鈣	1 1687.70	1702.70
	2 1833.00	
	3 1587.40	
350 mL 海藻酸鈉+ 350 mL 氯化鈣	1 2276.00	2413.40
	2 2430.40	
	3 2533.80	
400 mL 海藻酸鈉+ 400 mL 氯化鈣	1 2353.20	2456.27
	2 2360.40	
	3 2655.20	
450 mL 海藻酸鈉+ 450 mL 氯化鈣	1 2747.00	2480.67
	2 2185.40	
	3 2509.60	

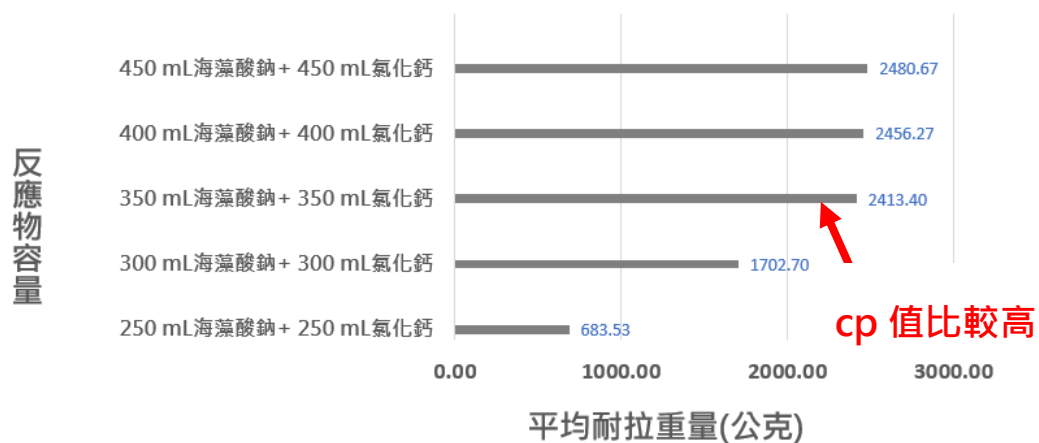


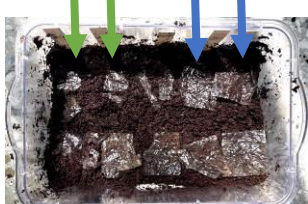


圖 10.海藻酸鈣薄膜平均耐拉重量 (精確度：小數點後 2 位)

(三) 土壤可分解性




表 7.海藻酸鈣薄膜土壤分解性實驗前後整理

時間	掩埋前	掩埋位置	掩埋後
照片			
外觀描述	海藻酸鈣膜剪成 5*5 公分，平放在 5 公分培養土上，上面再覆蓋 5 公分的培養土。(由左到右：250~450)	放在走廊地板上，早上 4 小時全日照、全日散射光、通風、斜雨可潑到處。	移除土壤，大約用水沖洗表面；發現膜厚愈薄的海藻酸鈣膜的土壤分解程度愈大，呈現碎片狀；而膜厚較厚的海藻酸鈣膜則仍完整，但手拿時易破裂。(由左到右：250~450)

(四) 耐候性





表 8.海藻酸鈣薄膜的耐候性測試前後整理

時間	吊掛前	吊掛位置	吊掛後
----	-----	------	-----

照片			
外觀 描述	海藻酸鈣膜剪成 2*5 公分，用釘書機固定在黑色不織布上。	吊掛在通風不淋到雨的高處。	質地變硬，表面變皺，顏色變黃，表面積無改變。





四、 目的四 發酵時間與細菌纖維薄膜厚度之關係





表 9.製作菌膜過程的發現及修正說明後的結果

發現	說明及修正	結果
成膜有時 會有空洞	<p>因我們在發酵原料不是選用價格高昂的純種菌種，所以會加入已生成的菌膜；在發酵期間，菌膜會漂浮或下沉都屬正常。因為發酵過程需有氧氣，所以菌膜都生長在液體表面，如果有原菌膜浮在表面，後生長的菌膜易有空洞；為減少空洞，我們把菌膜事先剪成薄的小塊三角形狀，發現較易形成膜厚一致的菌膜。</p> <p>另外，我們也發現倒入新紅茶液時如果表面有氣泡，產生的菌膜表面易不平整有空洞，所以需要用酒精噴表面或先撈除上面的泡沫；以免在發酵期間，較大顆的氣泡因浮在表面而讓後生成的菌膜有小空洞。</p>	<p> → </p> <p>新形成菌膜會沿著舊菌膜生長，因菌膜較輕會浮在液體表面，如新形成菌膜一開始重量輕，舊菌膜又一直浮在表面，易導致新菌膜不易長成完整膜。而事先把菌膜剪成薄的小塊，所生成的菌膜則相對較完整而且平整。</p> <p> → </p>
菌膜生長 速度慢	<p>因實驗期間在冬季，氣溫低，查詢了發酵最大產值的最佳溫度在 28~30 °C^[6]，最後我們微調整了 2 個部份：①在發酵容器外加套大紙箱保溫，②提高菌種原</p>	<p>一開始觀察，菌膜會從容器中央在舊菌膜附近開始形成，慢慢擴大，最後佈滿整個容器。發現比網友經驗 10~15 天成膜早了 3 天，可在第 7 天有 0.5 公</p>

	<p>液比液 (28.6%→41.2%，<u>網路賣家建議</u> 400 毫升→700 毫升)。</p>	<p>分厚度；在第四天就有肉眼可見的平整膜</p>  <p>發酵第三天 發酵第七天</p>
<p>菌維薄膜收成</p>	<p>發酵過程會從葡萄糖轉成醋酸，又因我們加入的是紅茶水，所以成膜是淺褐色有酸味，在查詢相關資料^{[15][16][17]}後，調整成我們自己的方法：①先用純水沖洗 2 次，洗去表面雜質，②1 M 氫氧化鈉溶液煮沸 20 分鐘，去除膜中菌體、殘留菌液、中和 pH 值③純水反覆沖洗浸泡，洗去菌膜殘留氫氧化鈉溶液。</p> <p>原先一開始我們在菌膜收成時，就直接放上已發芽種子，結果發現完全無法生長，量測菌膜 pH 值是 2.24 左右；所以收成後未用鹼中和處理的膜，完全不利於植物生長。</p>	 <p>未鹼中和處理的菌膜不利於植物生長 鹼處理前菌膜 pH 值是 2.24</p>  <p>鹼處理後+純水沖洗浸泡菌膜 pH 約 8.48</p>

表 10.發酵天數產生菌膜厚度與尺寸整理 (精確度：小數點後 2 位)

發酵時間 起迄日期	菌膜收成純水清洗 數次後	鹼處理後	平均膜厚 (毫米)	平均長度 (公分)	平均寬度 (公分)	平均面積 (平方公分)
4 天 1/20~1/23			0.71	24.09	25.98	885.57
5 天 1/20~1/24			1.11	34.52	26.81	925.58

6 天 1/20~1/25			1.71	34.67	36.23	909.69
7 天 1/20~1/26			2.73	33.42	25.46	850.81





註 1：發酵天數菌膜做 3 片，長度與寬度分別各量左、中、右平均量得平均長度及寬度；再由每片菌膜平均長寬求得平均面積。





註 2：經小組成員與指導老師討論後，菌膜收成醃處理後晾乾數分鐘至不滴水狀態，直接平放進酒精消毒後的夾鏈袋中，擠出大部份空氣呈現類似真空保存(參考了課本六下第二單元食物保存、市售鐵蛋及椰果包裝)。

五、目的五 細菌纖維膜的耐性測試

(一) 耐水性：

表 11. 菌膜耐水性前後整理 (精確度：小數點後 2 位)

發酵天數		浸泡前	浸泡後
4 天	外觀		
	長*寬 (公分)	33.32*25.53	34.09*25.98
	膜厚 (毫公分)	0.77	0.71
	外觀描述	透明，可看見下面文字，表面有淺黃斑紋	在浸泡 3 天後，整張膜呈均勻白色透明
5 天	外觀		
	長*寬 (公分)	33.40*25.38	34.52*26.81
	膜厚 (毫公分)	1.84	1.11
	外觀描述	淺黃色斑紋明顯增多，透明可稍微看到下面圖案	浸泡水顏色比較黃，膜顏色白色，可稍微看到下面圖案

6天	外觀		
	長*寬 (公分)	36.54*24.82	37.84*26.23
	膜厚 (毫公分)	2.27	1.71
	外觀描述	黃色斑紋更深, 已經看不到後面圖案	膜顏色白色
7天	外觀		
	長*寬 (公分)	33.48*25.33	33.42*25.46
	膜厚 (毫公分)	2.75	2.73
	外觀描述	呈不均勻淺褐色	膜顏色白色

(二) 耐拉(重)性

表 12. 菌膜平均耐拉重量 (精確度: 小數點後 2 位)

發酵天數	膜耐拉(重)重量 (公克)	平均耐拉重量 (公克)
4天	1	323.40
	2	482.60
	3	668.00
5天	1	109.30
	2	783.50
	3	651.30
6天	1	651.30
	2	874.10
	3	手未放就斷
7天	1	1113.60
	2	753.50
	3	755.00

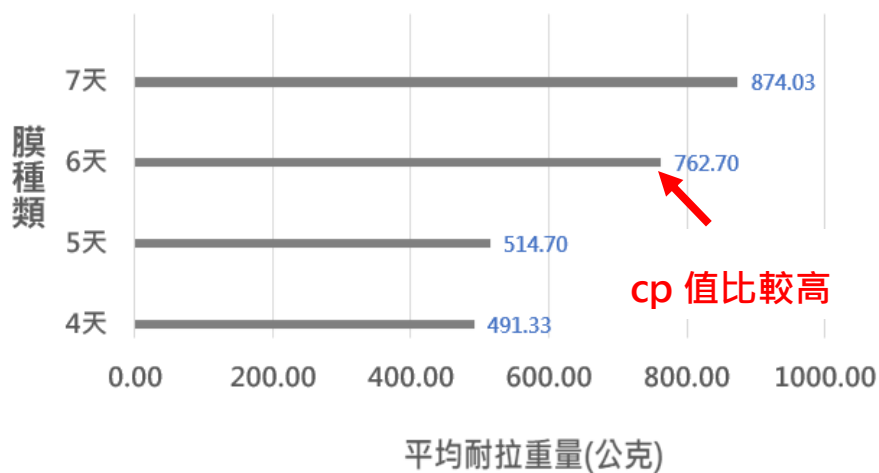


圖 11. 菌膜平均耐拉重量 (精確度: 小數點後 2 位)

(三) 土壤可分解性

表 13. 菌膜土壤分解性實驗前後整理

時間	掩埋前	掩埋位置	掩埋前
照片			
外觀描述	菌膜剪成 5*5 公分，平放在 5 公分培養土上，上面再覆蓋 5 公分的培養土。 (由左到右 : 4 天~7 天)	放在走廊地板，早上 4 小時全日照、散射光、通風、斜雨可潑到處。	全部分解，完全沒有殘餘的碎片。

(四) 耐候性

表 14. 菌膜的耐候性測試前後整理

時間	吊掛前	吊掛位置	吊掛後
照片			
外觀描述	菌膜剪成 2*5 公分，用釘書機固定在黑色不織布上。	與海藻酸鈣膜一起吊掛在通風不淋到雨的高處。	質地變硬乾，邊緣微捲曲，顏色變黃； 發酵 7 天薄膜(膜最厚)面積明顯縮小；發酵 4 天薄膜(膜最薄)明顯捲曲。

六、目的六 海藻酸鈣薄膜及細菌纖維薄膜種植植物生長的情形

表 15. 利用海藻酸鈣膜及菌膜種植黃豆生長速度 (精確度：小數點後 1 位)

		天數(日)								
生長記錄(cm)(平均高度)		1	3	5	7	9	11	13	15	
組別		加水80 毫升	加水20 毫升	加水40 毫升	加水40 毫升		加水20 毫升	加水20 毫升		
黃豆	對照組	0.0	2.8	3.0	5.9	7.6	13.8	17.3	19.2	
	水耕-黃豆	0.0	2.8	3.0	5.9	7.6	13.8	17.3	19.2	
	菌膜-4天	0.0	1.6	1.9	3.5	4.6	5.9	7.8	12.3	
	菌膜-5天	0.0	1.6	2.7	4.1	4.4	5.7	7.0	10.5	
	菌膜-6天	0.0	1.4	2.2	2.9	3.3	5.1	10.2	13.8	
	菌膜-7天	0.0	2.0	2.9	4.4	4.9	6.5	11.4	17.4	
	海藻酸鈣膜-250	0.0	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	0.0	0.0	
	海藻酸鈣膜-300	0.0	0.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	海藻酸鈣膜-350	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	海藻酸鈣膜-400	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
海藻酸鈣膜-450	0.0	1.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

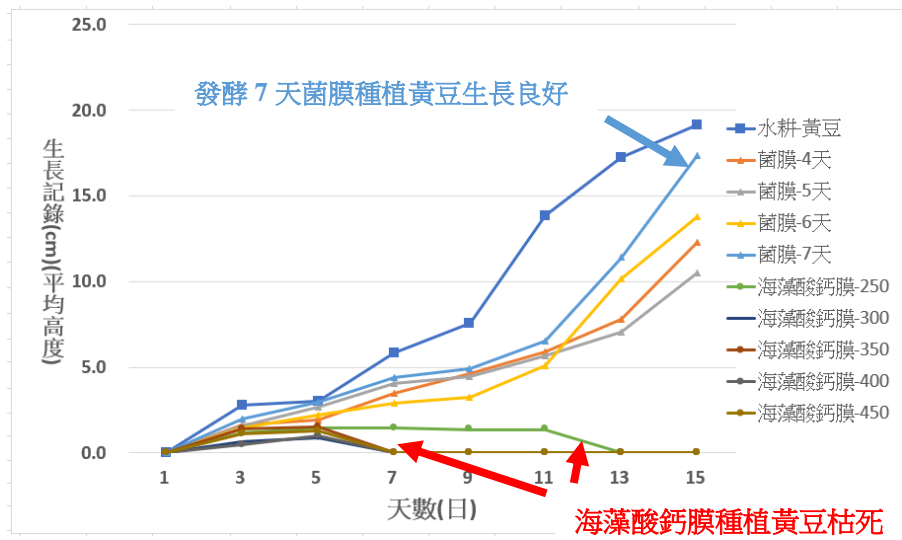


圖 12. 利用海藻酸鈣膜及菌膜種植黃豆之生長速度 (精確度：小數點後1位)

表 16. 利用海藻酸鈣膜及菌膜種植小白菜之生長速度 (精確度：小數點後1位)

		天數(日)							
生長記錄(cm)(平均高度)		1	3	5	7	9	11	13	15
組別		加水80 毫升	加水20 毫升	加水40 毫升	加水40 毫升		加水20 毫升	加水20 毫升	
小白菜	對照組 水耕-小白菜	0.0	1.1	2.2	2.4	2.7	2.8	3.1	3.1
	菌膜-4天	0.0	0.6	1.3	2.6	3.3	3.5	3.6	3.7
	菌膜-5天	0.0	0.4	0.7	2.1	2.4	2.6	2.7	2.8
	菌膜-6天	0.0	0.3	0.6	1.1	2.0	2.3	2.4	2.5
	菌膜-7天	0.0	0.7	1.2	2.7	3.2	3.4	3.5	3.8
	海藻酸鈣膜-250	0.0	0.9	1.3	2.2	2.6	2.7	3.1	3.2
	海藻酸鈣膜-300	0.0	0.2	0.5	0.6	0.8	1.4	1.9	2.5
	海藻酸鈣膜-350	0.0	1.0	1.6	2.8	3.6	3.7	3.9	4.1
	海藻酸鈣膜-400	0.0	0.5	0.7	1.2	1.6	2.1	2.3	2.4
	海藻酸鈣膜-450	0.0	0.3	0.5	0.5	0.9	0.9	0.9	1.0

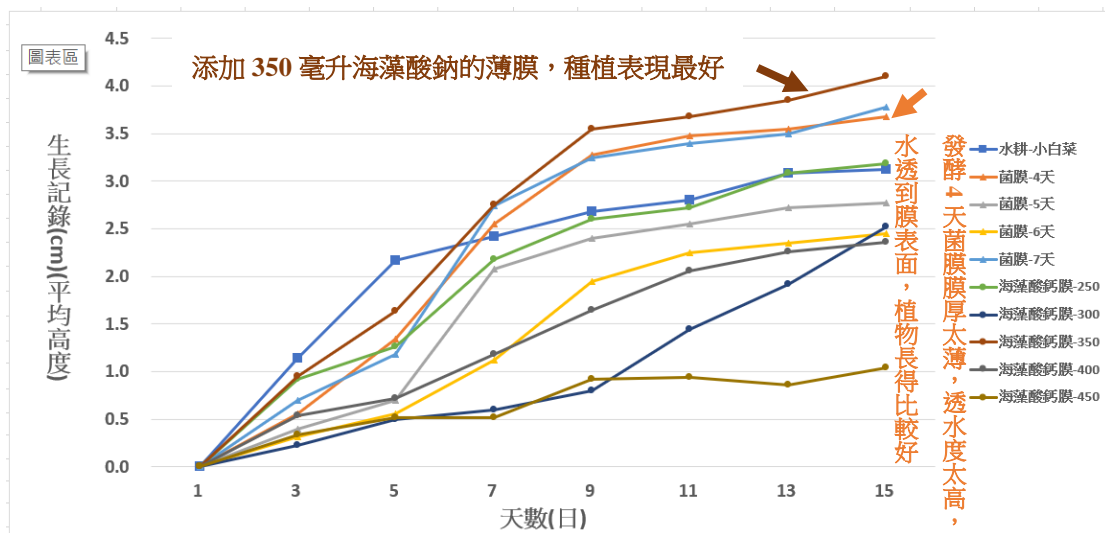
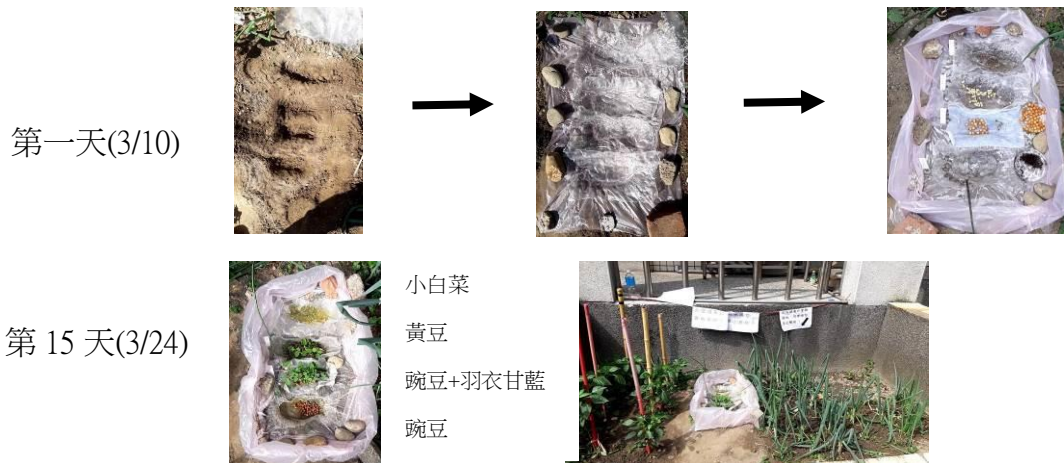


圖 13. 利用海藻酸鈣膜及菌膜種植小白菜之生長速度 (精確度：小數點後1位)

七、模擬/結合學校食農教育



伍、討論

一、應用海藻酸鈉與氯化鈣交聯形成的薄膜大部份是球狀，經過同學間腦力激盪想到了造紙及涼皮的製作過程，中間克服表面張力改塑膠盤成不鏽鋼盤；又成膜後表面積會縮小而改用更大的淺盤；①更利用預先覆上氯化鈣溶液使底部先成膜減少膜與不鏽鋼淺盤的沾黏，②再模仿造紙過程的水平左右搖晃方法來使氯化鈣溶液沖到盤子底部加快底部成膜及利用溶液左右移動的力量把膜從盤底分離。

二、在實驗二過程，發現海藻酸鈉加入反應量太少（250、300 毫升），容易造成膜太薄（0.03 毫米），脫膜及乾燥過程易破損（類似糯米紙）；加入量太多（450 毫升），容易造成局部厚度太厚成”水球”狀（如圖 14），延長乾燥時間；所以，加入 350 及 400 毫升的海藻酸鈉與氯化鈣反應，反而是製膜過程中性價比較高的反應物比例。



圖 14. 薄膜厚度不均勻

製膜過程海藻酸鈉加入量愈多，濕膜及乾膜厚度越厚，乾燥前後的面積收縮率變小，應該是膜厚度愈大，其中交聯程度愈高，水分子愈不容易進入結構中，所以收縮率變小。

三、海藻酸鈣膜的耐水性測試，一開始接觸水，膜的觸感變軟，浸泡一個月後膜的大小尺寸沒有改變但表面變皺，乾燥後顏色有稍微變黃且質地變得較浸泡前硬。

一開始測試耐重(拉)性時，就發現添加 250 毫升海藻酸鈉的薄膜就能承受超過 500 克的拉力，導致我們的第一代的量測拉力裝置無法負荷，後來修改並改良第二代順利量測添加海藻酸鈉比例與耐拉重量成正比。

土壤可分解性，在經過一個月實驗，移除表面 5 公分深度土壤，發現我們製作的海藻酸

鈣膜可以部份被土壤分解，**膜愈薄，愈易被分解**；比較了其它作品說明書^[3]內容後，預測時間再拉長 3 個月，海藻酸鈣膜應該可以完全分解，不對環境造成負擔。

耐候性測試部份發現海藻酸鈣膜裁成 2*5 公分大小，吊掛在通風不淋到雨的高處 1 個月後，發現只有**邊緣稍微捲曲，整體形狀還是維持長方形無破裂損失**；代表我們製做的海藻酸鈣薄膜可以在無人為外力下保存 1 個月以上。

四、製造菌膜過程，查找了很多前期製造、後期處理的文獻，經過篩選適合我們的方法，並經過多次試錯實驗結果修改成最簡易操作的流程。其中，我們發現**避免菌膜產生膜厚不均**的方法是倒入紅茶糖水要緩慢不要產生氣泡浮在液體表面，如果有氣泡需要撈掉，**（我們也發現直接噴酒精可以消除表面的氣泡）**以免菌膜底部因氣泡而凹凸不平。另外，因發酵過程會產生二氧化碳，氣體上浮時如果碰到大塊的舊膜，容易把舊膜往上頂，新膜更容易有空洞；所以我們改良成預先**把舊膜剪成小塊，比較不易累積氣泡**。

菌膜的 pH 值在一開始收成時是 2.24，經過**鹼處理**中和掉發酵生成的醋酸，但 pH 值也達到了 10.55~11.62 左右，所以必須再經過**純水反覆沖洗浸泡**後達到 8.5 左右，以便菌膜的後續利用及保存；**菌膜保存方法我們是參考自然課本中提及的真空食物保存法，先噴上酒精放入夾鏈袋後擠出空氣來保存我們所製造的菌膜，以免菌膜發霉。**

五、在菌膜耐水性實驗，我們發現本來菌膜就具有高含水性高保水性，所以菌膜絕對可以**耐得住長時間泡水**；菌膜收成時呈現均勻黃色，經氫氧化鈉鹼中和後，呈黃色~淺褐色斑紋，通過後續的純水反覆清洗可以把膜中的顏色清洗出來，使膜的顏色變淡。

在泡水實驗，發現泡水後 1~2 小時水開始慢慢變黃，3 天後觀察菌膜就已經呈現均勻白色。但在浸泡 1 個月後量測尺寸及膜厚時，尺寸有比浸泡前稍微變大，但膜厚變小，猜測是因同學在濾掉水份時太用力擠壓水份，把菌膜”壓扁”了。綜合以上觀察的兩點，我們更證明**菌膜具有高保水含水性，其多孔特性更可以讓水、顏色或其它特定物質通過。**耐拉(重)性中，我們觀察到菌膜的拉伸耐重雖然沒有海藻酸鈣膜大，但還是可以承重 490~875 公克；因我們是取濕膜量測，所以，有加上砂紙增加摩擦力，方便量測。

土壤可分解性部份，在經過一個月並移除表面 5 公分深度土壤後，發現**菌膜在 1 個月內完全被分解**(在 1/30~2/28 測試期間有下雨 3 天)；另外，我們也在旁邊的花盆放上直徑

25 公分厚度 2 公分的菌膜，上方不覆蓋土壤直接曝露空氣中，觀察 1/1~3/24 共 83 天發現菌膜幾乎被分解掉 80%，摸起來薄、脆而硬。

在菌膜耐候性測試中，裁剪 2*5 公分大小的菌膜吊掛在通風不淋雨高處 1 個月後，發現膜變薄、質地變乾且脆硬、邊緣微捲曲、顏色變黃，表面積縮小；外觀良好無破損。



圖 15.菌膜幾乎被分解 80%

六、利用了自製的海藻酸鈣膜及菌膜當成可替代的薄膜，每組放入 5 個已發出芽點的黃豆及小白菜觀察 2/24~3/10 共 15 天，每 2 天觀察其生長情形(對照組：水耕)。其中發現自製的薄膜與對照組比較，生長速度比較慢，但其根系生長非常發達，為了吸收更多水份長出很多細根，並牢牢抓住薄膜表面(如圖 16)。



圖 16.黃豆及小白菜為了吸收更多水份，長出許多細根(氣根)

但發現根系比較粗的黃豆在海藻酸鈣膜上因抓根狀況不佳，所以生長高度停留在 1.5 公分時就死掉。並發現不管是海藻酸鈣膜或菌膜都比較適合細根植物，粗根的豆類在種植時要注意根部倒伏並且需要在周圍固定薄膜。

七、利用前一實驗所得結果，取添加 350、400 毫克海藻酸鈉的薄膜及發酵 7 天的菌膜種植了小白菜、黃豆、豌豆、羽衣甘藍 (觀察 3/10~3/24 共 15 天)；其中，在第 8 天時因同學把種植小白菜的 350 海藻酸鈣膜搓破了一個洞，植物在水中浸泡 3 天，星期一早上發現植物淹死；豌豆則因在海藻酸鈣膜上沒有抓根成功而枯萎。其它利用添加 400 毫克海藻酸鈉的薄膜+黃豆及發酵 7 天菌膜+豌豆+羽衣甘藍成功抓根並長高到平均 5~7 及 13~17 公分。另外，3 月上旬二年級學弟妹有課程學習認識種子，老師也帶著學弟妹到我們的實驗農場參觀種植成果(圖 17)，真的是為長達 6 個月的實驗過程加入了滿滿的鼓勵。



圖 17.學弟妹參觀種植成果

陸、結論

- 一、利用預先覆上氯化鈣溶液使底部先成膜減少膜與不銹鋼淺盤的沾黏，再利用造紙過程的水平左右搖晃方法來使氯化鈣溶液沖到盤子底部加快底部成膜及利用溶液左右移動的力量把膜從盤底分離。
- 二、製作海藻酸鈣膜時，添加 250 及 300 毫升海藻酸鈉所製成的乾膜膜厚太薄，只有 0.03 及 0.07 毫米，製作時也會因海藻酸鈉溶液黏性大不易均勻分佈淺盤各角落，以致膜厚不均勻，拿取保存也容易破損；添加 450 毫升海藻酸鈉所製成的濕膜又容易局部厚度太厚成”水球”狀；所以，在比較了實際操作容易度及成本後，選定添加 350、400 毫升海藻酸鈉所製成的薄膜厚度為 0.07 毫米，厚度較均一，性價比最高。
- 三、海藻酸鈣膜的耐水性經測試可浸泡 1 個月不變質，只有再次乾燥後質地有變硬脆，但泡水後仍會變軟可再次使用；添加 350、400 毫升海藻酸鈉的薄膜其耐拉重可達 2400~2450 公克。將薄膜埋入 5 公分深土中 1 個月發現膜愈薄，愈易被分解；我們預測時間再拉長 3 個月，海藻酸鈣膜應該可以完全分解。薄膜吊掛高處測試耐候程度 1 個月可以大致不變形只有些微變皺，顏色微黃。
- 四、製造菌膜中發現可以透過輕緩倒入紅茶水來減少表面泡沫、噴酒精消泡及預先把舊菌膜剪小塊來使發酵菌膜膜厚平均沒有空洞。用 1 M 氫氧化鈉溶液把 pH 值 2.24 菌膜中殘留的醋酸及有機質去除，再用純水反覆沖洗把殘餘鹼清洗並把 pH 值從 10.55~11.62 降到 8.5 左右。最後噴上酒精放入夾鏈袋中真空保存。
- 五、菌膜具有高保水高含水性，其多孔特性更可以讓水、顏色或其它特定物質通過並耐得住長時間泡水。承重達 490~875 公克，可在在 1 個月內完全被土壤分解；吊掛高處膜變薄、質地變乾且脆硬、邊緣微捲曲、顏色變黃，表面積縮小；外觀良好無破損。
- 六、自製的海藻酸鈣膜（添加 350、400 毫升海藻酸鈉薄膜）及菌膜（發酵 7 天）比較適合細根植物生長，其根系生長非常發達，為了吸收更多水份長出很多細根，並牢牢抓住薄膜表面；如果是粗根植物則會因海藻酸鈣膜太薄，承重不夠而有倒伏，但可以用長尾夾固定四周來改善。
- 七、取添加 400 毫克海藻酸鈉的薄膜+黃豆及發酵 7 天菌膜+豌豆+羽衣甘藍種植，觀察 15 天，植株成功抓根覆著在薄膜上並長高到平均 5~7 及 13~17 公分，同時讓學校老師帶著學弟妹到我們的實驗農場參觀成果。

結後心得及未來展望：

比較我們研究的薄膜及 森 有一教授的水凝膠薄膜的差異及優缺點比較：

	膜範生機	薄膜農業
原料取得	化工行易購得，日常生活 取材容易 (海藻酸鈉、氯化鈣、紅茶水、菌種)	一般民眾 不易購得 (專利產品，目前需向日本購買)
製做過程及保存	3~7 天 ，夾鏈袋保存可達 6 個月左右	專利技術 ，無法得知
製做成本	一般實驗室、家庭 即可小規模製膜、 便宜	工廠大批量製造 、初期 投入高
安全性	無明火、無激烈化學反應， 安全	需使用 大型機具生產
友善環境程度	種植完畢直接投入 土壤完全分解	需 移除及農業廢棄物處理
運用規模	裁剪適合大小 直接覆蓋 裝水淺盤即可	需事先埋水管並覆蓋塑膠膜 ，再覆上水凝膠膜才能種植
適合作物	適合生長期短的 豆類或細根植物 (如：生食有機蔬菜)	目前以種植 蕃茄、哈蜜瓜、小黃瓜、草莓、甜椒、各種葉菜類 為主
運用範圍	家庭小型栽種、實驗教學	大型溫室種植 ，城市~沙漠均可

心得總結並延申思考：試想未來如果我們把薄膜應用在**種植生長期短的豆芽或生菜蔬菜**，可以試著先提供自己學校供餐或給農民試種量產；一般民眾也可利用來**種植小麥草**製作麥芽糖及供寵物貓食用。

柒、參考文獻資料

1. 三立 LIVE 新聞 (2016 年 4 月 23 日)•【消失的國界】不用土壤也能耕作！日本人搶購「薄膜農法」神奇番茄• 資料來源：<https://www.youtube.com/watch?v=pfz1tIXjgHg&t=17s>
2. 林鈺純 (2018)• Ooho!「內」個「膜」法-凝膠薄膜性質之探討• 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書
3. 蔡沛穎、周宥妍、邢皓 (2021) • 探囊取水-探討雙層膜水膠囊的製作方法、保存方法與各項測試• 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品說明書
4. 吳宗諱、柯伯勳、尤暄婷 (2017)• 不「球」「滲」「解」• 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書

5. 作者不詳・讚炭膠粒~土壤改造有一套・全國高級中等學校專業群科 109 年專題及創意製作競賽「創意組」作品說明書
6. Bacterial cellulose・WIKIPEDIA・資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Bacterial_cellulose
7. 李家洲、尚玉平、黃榮林、趙鑫、張冬青（2010）・細菌纖維素可食性包裝產品及其生產方法・（發明專利申請說明書申請公布號 C N 102211689 A）・中華人民共和國 國家知識產權局
8. Ruby Johnsen・Growing Microbial Cellulose・資料來源：
https://www.youtube.com/watch?v=1d_JscPIaPI
9. 莊凱文、林艾美、張硯程（2012）・紅茶會「酵」?- 紅茶菌生長及其應用性之研究・中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書
10. 化學粉圓與麵條・國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系 科學遊戲實驗室・資料來源：<http://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-019.html>
11. Selestina Gorgieva and Janja Tr̃cek , *Bacterial Cellulose: Production, Modification and Perspectives in Biomedical Applications*, Nanomaterials, 2019, 1352,1-8
12. 李羿昌、鄭佳昀（2019）・「混」是「膜」王—探討海藻酸鈉及澱粉混合薄膜的特性・中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書
13. 黃翊瑄、張至騫、藍以丞、洪御翔、陳亦敬、楊博翰（2018）・渾身解塑-以回收紙漿和洋菜製作可分解垃圾袋・中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書
14. 陳竟、馮蕾、楊新平（2014）・細菌纖維素的製備和應用研究進展・纖維素科學與技術，Vol. 22 No. 2
15. 于大禹、喬楠、張金榜、關曉輝、張靜、劉文超、于晶（2009）・一種細菌纖維素食品保鮮膜的製備方法・（發明專利申請公布說明書 申請公開號 C N 101372536 A）・中華人民共和國 國家知識產權局
16. Rosie ADM（2020/1/20）・Removal and Washing - Bacterial Cellulose: Batch Two・資料來源：
<https://www.youtube.com/watch?v=Fxo8Giq1Dlo>
17. Pedro Zöhler（2022）・Kombucha: biocouro, como preparar o couro de Kombucha・資料來源：
<https://www.youtube.com/watch?v=TRITDrfXeX0>

【評語】 082909

本作品由薄膜農業發想所衍生於食農教育應用的點子，自行製作的海藻酸鈣膜、細菌纖維膜符合較低成本，具環保農業的可能性。建議將薄膜的耐水性及分解性檢測結果進行量化比較、海藻酸鈣膜及菌膜需考量發霉的可能性及改善方法。

作品海報

摘要

以校園生活中看到的現象，借鏡日本薄膜農業經驗，在試錯過程中，找到便宜、易取得、製作時間短的薄膜，從中發展備製海藻酸鈣膜及細菌纖維膜(菌膜)的標準流程。測其耐水性及耐候性可達1個月仍可再使用，海藻酸鈣膜及菌膜耐重性可達2400~2450 及490~870公克重量，菌膜可在一個月期間埋在土壤中分解完畢；海藻酸鈣膜膜厚愈薄，愈容易被分解，預測時間拉長到3個月以上可以完全分解。

利用兩種膜來種植黃豆及小白菜，成功讓植物根系牢牢抓住菌膜，以發酵7天的菌膜及添加350及400毫升海藻酸鈣的薄膜生長速度最好。利用實驗成功經驗，在學校食農農場露天種植豌豆、黃豆成功在15天長高13~17公分及5~7公分；其成果也讓學校老師帶著學弟妹到我們的實驗農場教學參觀。

壹、前言

一、研究動機

上自然課時看到四年級學弟妹為觀察植物生長過程而種植好幾種不同植物，澆水時常因給水過多，把地板用的濕答答或是把植物渴死的情形。激發我們另一層思考：試想是否有更省水的懶人方法？詢問老師後，提供了日本早稻田大學森有一教授開發的“**薄膜農業**”資訊，發現這種不用土壤又省水的逆境生長法。

並試想我們是否可以找到更便宜、更友善環境的薄膜來取代森有一教授的水凝膠薄膜，並嘗試種植生長期短的植物；植物收成後，薄膜可以直接丟棄被土壤分解，從可能是農業廢棄物轉而變成土壤的一部份，也不需考慮薄膜移除回收的問題，實現循環經濟的可能。

但是考量到經費問題，並相比對森有一教授在原本自身醫療背景下研發具有專利的水凝膠膜，我們的經費是少之又少；所以，在此前提下尋找**材料便宜、易取得、容易製備、製做時間短、製做方法簡單、快速運用的兩個原材料 - 海藻酸鈣及細菌纖維膜**來製做薄膜。另外，也希望在實驗過程得到驗證後實際**結合學校食農教育農場**，並達到我們這次題目最重要的目的“**膜範生機**”。

二、目的

- (一) 目的 一 製備平整海藻酸鈣薄膜的流程
- (二) 目的 二 反應物容量對海藻酸鈣薄膜厚度影響及乾燥過程之變化
- (三) 目的 三 海藻酸鈣薄膜的耐性測試
- (四) 目的 四 發酵時間與細菌纖維薄膜厚度之關係
- (五) 目的 五 細菌纖維薄膜的耐性測試
- (六) 目的 六 海藻酸鈣薄膜及細菌纖維薄膜種植植物生長情形
- (七) 目的 七 模擬 / 結合學校食農教育

三、文獻回顧：詳見作品說明書

貳、研究設備及器材

一、器材：

玻棒（長度 25公分）、酒精溫度計（-20~105℃）、燒杯（500 mL）、藥匙、秤量紙（12*12公分）、攪拌子（長3公分，直徑0.8公分）、不鏽鋼淺盤（48.6*33*2.5公分）、有洞育苗盤（49.5*29*6.5公分）、圓形透明塑膠淺盤（直徑10.5公分*深1.5公分）、長方形透明塑膠淺盤（長26公分*寬16公分）、塑膠噴瓶（500 mL）、鐵尺（30公分）

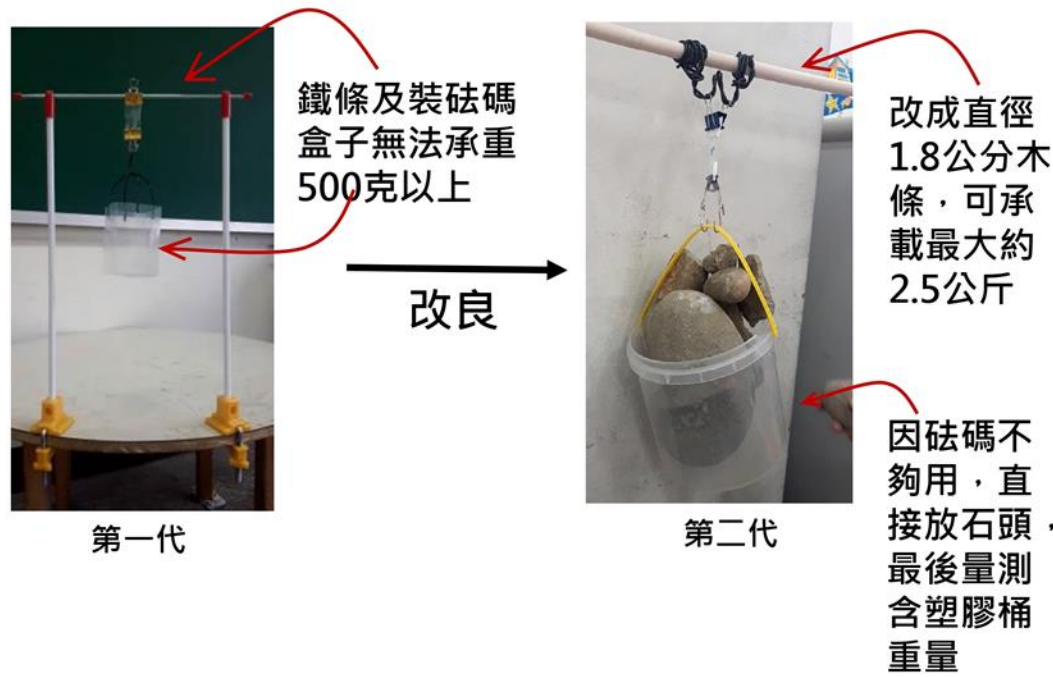
二、藥品：

海藻酸鈣（帝一化工，1公斤袋裝）、氯化鈣（帝一化工，500公克瓶裝）、98%氫氧化鈉（帝一化工，500公克瓶裝）、麥香紅茶（怡和茶業，100公克袋裝）、二砂糖（台糖，1公斤袋裝）、75%酒精（派頓，4000 mL瓶裝）、培養土（福壽牌10公斤）、豌豆種子（產地 澳洲）、小黃豆種子（產地 美國）、青梗白菜種子（產地 美國）、羽衣甘藍種子（產地 美國）、小白菜種子（產地 臺灣）

三、設備：

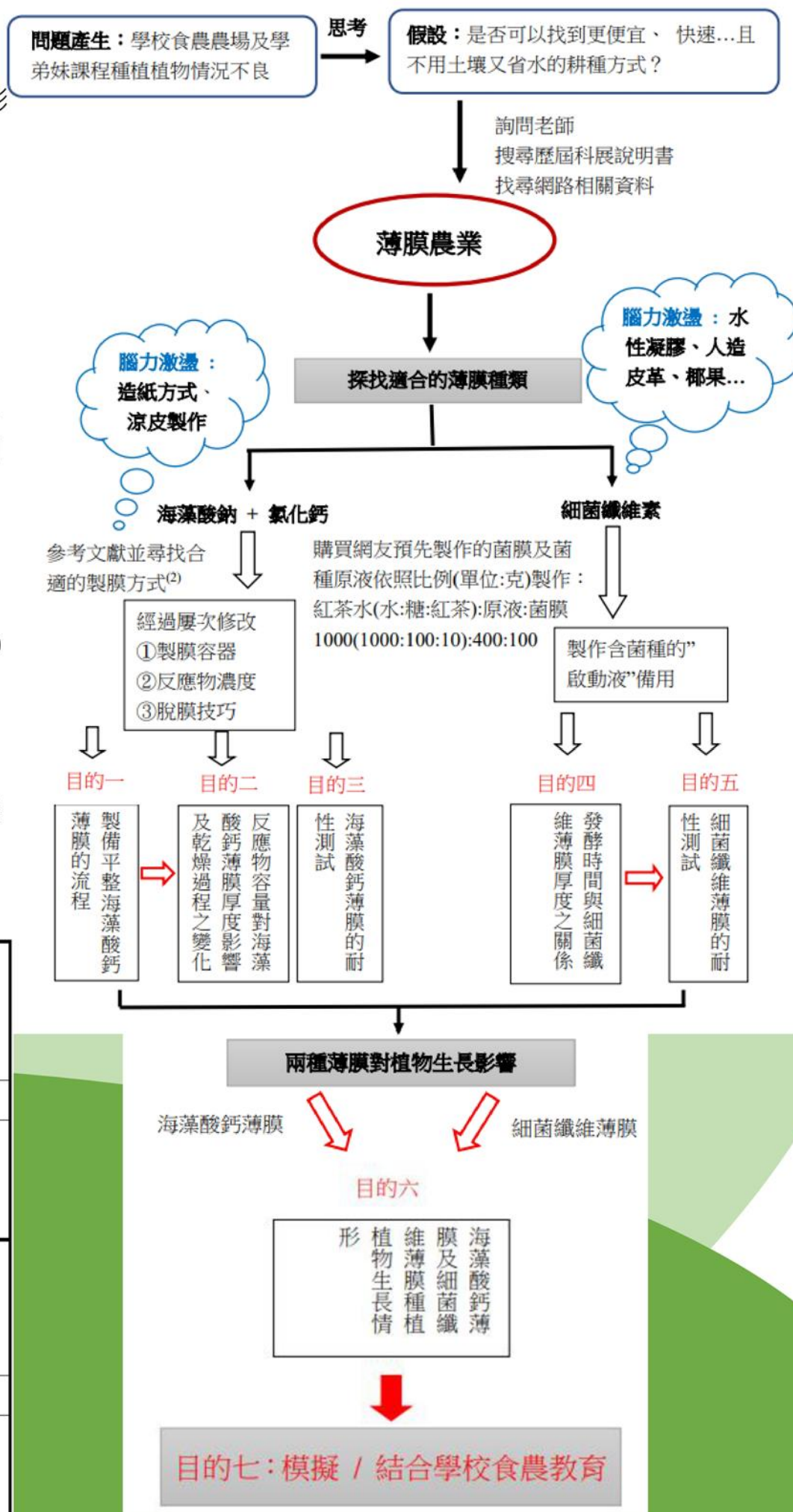
			
恆溫磁力攪拌器	電子式游標尺	數位式測厚計	小電子秤
型號 85-2	型號 無	型號 MET-DTG	型號 I-2000
測量範圍 0-2400 rpm	測量範圍 0-150 毫米	測量範圍 0-12.7 毫米	測量範圍 0.01-500 g
0-80℃			5-35℃
			
大電子秤	pH計	計時器	自製測拉力裝置
型號 SF-400A	型號 pH Meter	型號 無	型號 無
測量範圍 0-5000 公克	測量範圍 0-14 毫米	測量範圍 計分及秒	測量範圍 0~2.5 公斤
5-35℃	(0-60℃)		

原本利用學校槓桿教具製作了測量拉(重)力裝置 (第一代:左圖)，實際測量時膜的耐拉力超出裝置的範圍，所以全部加以改良成 (第二代:右圖)



參、研究過程或方法

一、研究架構



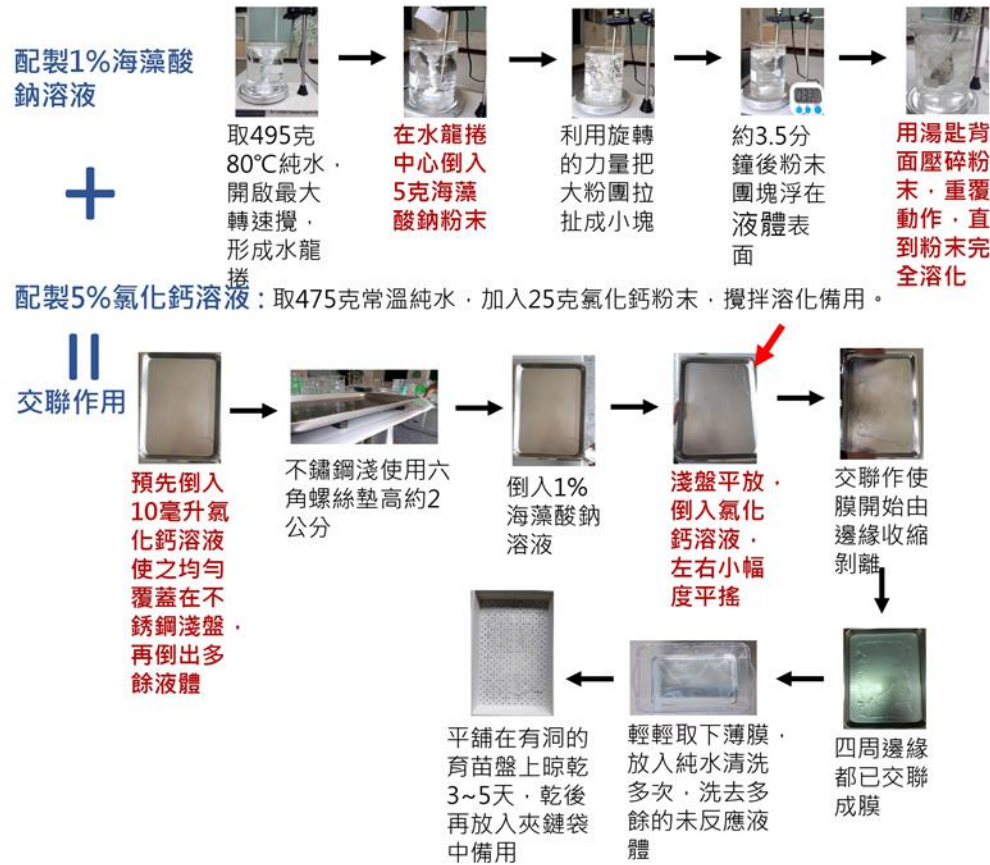
二、研究過程或方法

目的 一 找尋製作海藻酸鈣薄膜的最適標準流程

研究構想：利用製作Ooho水球的海藻酸鈣凝膠，取代水凝膠膜，並研究製備平整海藻酸鈣薄膜的實驗。

實驗步驟：

變因	因實驗一旨在建立製膜的標準流程，所有變因皆為固定
控因	實驗溫度、反應物量、反應時間、模型大小及傾斜角度、倒入氯化鈣角度、搖晃時間幅度、脫模時間、純水沖洗時間、膜晾乾條件

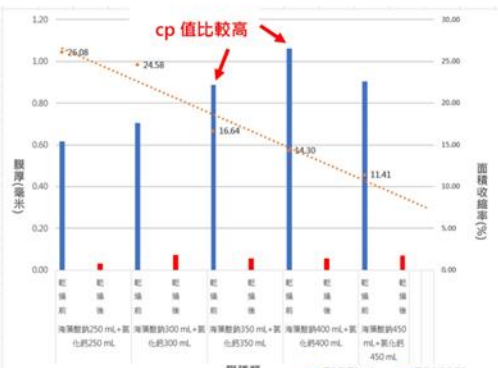


目的 二 添加海藻酸鈉容量對膜厚會有影響嗎？

研究構想：測試在最低成本下成膜的反應物容量。

實驗步驟：詳見作品說明書

膜種類	乾燥前後/日製作日期	平均膜厚(毫米)	平均長度(公分)	平均寬度(公分)	平均面積(公分 ²)	面積收縮率(%)
250 mL 海藻酸鈉 + 250 mL 氯化鈣	乾燥前 1/3	0.62	35.52	23.26	826.19	26.08%
300 mL 海藻酸鈉 + 300 mL 氯化鈣	乾燥前 1/3	0.58	34.24	20.96	717.67	24.58%
350 mL 海藻酸鈉 + 350 mL 氯化鈣	乾燥前 1/3	1.06	35.10	18.28	641.63	16.64%
400 mL 海藻酸鈉 + 400 mL 氯化鈣	乾燥前 1/4	1.06	36.04	20.63	743.50	14.30%
450 mL 海藻酸鈉 + 450 mL 氯化鈣	乾燥前 1/4	0.91	33.13	17.52	580.44	11.41%
450 mL 海藻酸鈉 + 450 mL 氯化鈣	乾燥前 1/7	0.07	32.08	16.03	514.24	11.41%



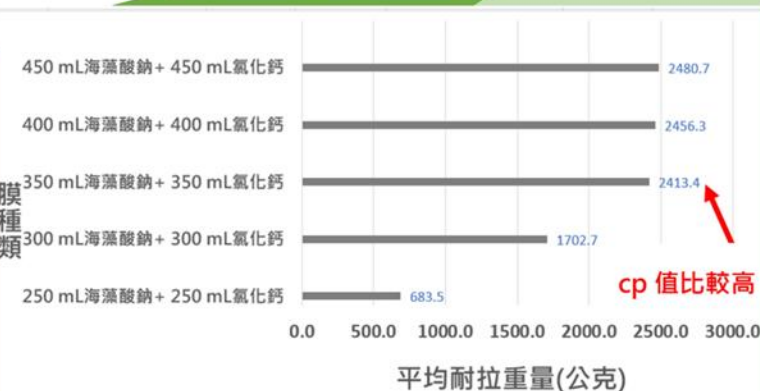
目的 三 海藻酸鈣薄膜耐水性、耐拉重性、耐候性、土壤可分解性？

研究構想：因製作出來的膜是利用來取代水凝膠膜並種植植物，所以其耐水性、耐拉(重)性、土壤可分解性、耐候性會是我們真正實際利用時考量的重點。

實驗步驟：詳見作品說明書

膜種類	浸泡前(1/30/2023)	浸泡中	浸泡後(2/28/2023, 一個月)
250 mL 海藻酸鈉 + 250 mL 氯化鈣	乾時質地柔軟	呈現透明，質地柔軟	濕時質地柔軟，乾燥後較硬
300 mL 海藻酸鈉 + 300 mL 氯化鈣	乾時質地柔軟	呈現透明，質地柔軟	濕時質地柔軟，乾燥後較硬
350 mL 海藻酸鈉 + 350 mL 氯化鈣	乾時質地柔軟	呈現透明，質地柔軟	表面變硬，膜外型縮小
400 mL 海藻酸鈉 + 400 mL 氯化鈣	乾時質地柔軟	呈現透明，質地柔軟	表面變硬，膜外型縮小，顏色變透明
450 mL 海藻酸鈉 + 450 mL 氯化鈣	膜呈白色	呈現透明，質地柔軟	膜外型明顯縮小，顏色變透明

膜種類	耐拉重量(公克)	平均耐拉重量(g)
250 mL 海藻酸鈉 + 250 mL 氯化鈣	1	549.5
	2	771.1
	3	730
300 mL 海藻酸鈉 + 300 mL 氯化鈣	1	1687.7
	2	1833
	3	1587.4
350 mL 海藻酸鈉 + 350 mL 氯化鈣	1	2276
	2	2430.4
	3	2533.8
400 mL 海藻酸鈉 + 400 mL 氯化鈣	1	2353.2
	2	2360.4
	3	2655.2
450 mL 海藻酸鈉 + 450 mL 氯化鈣	1	2747
	2	2185.4
	3	2509.6



時間	吊掛前(1/30/2023)	吊掛位置	吊掛後(2/28/2023, 一個月)
照片			
外觀描述	海藻酸鈣膜剪成2*5公分，用釘書機固定在黑色不織布上。	吊掛在通風不淋到雨的高處。	質地變硬，表面變皺，顏色變黃，表面積無改變。

量測膜厚位置如上，量測6點，平均後數值為單張薄膜厚度(單位: mm)，共量測3張薄膜

時間	掩埋前(1/30/2023)	掩埋位置	掩埋後(2/28/2023, 一個月)
照片			
外觀描述	海藻酸鈣膜剪成5*5公分，平放在5公分培養土上，上面再覆蓋5公分的培養土。(由左到右: 250-450)	放在走廊地板上，早上4小時全日照、全日散射光、通風、斜雨可澆到處。	移除土壤，大約用水沖洗表面：發現膜厚薄的海藻酸鈣膜的土壤分解程度愈大，呈現碎片狀；而膜厚較厚的海藻酸鈣膜則仍完整，但手拿時易破裂。(由左到右: 250-450)

目的 四 發酵時間與菌膜厚度的關係

研究構想：從生活中手搖飲中椰果發想並利用其滲透性及保水性的特性，測試發酵時間與菌膜厚度。

實驗步驟：

紅茶水(純水:二砂糖:紅茶(1000克):100克:10克); 紅茶菌種原液:菌膜(1000克:700克:100克)

新菌膜沿著菌膜生長

收成後的菌膜，pH值是2.24

1M 氫氧化鈉煮20分鐘後，pH值約10.55~11.62

反覆純水清洗浸泡菌膜，pH值可降至8.48

倒紅茶水產生氣泡易造成新膜有空洞，可把氣泡搽除，噴酒精消毒，把菌膜剪成小塊三角形

如不經處理完全不利植物生長

發酵時間	菌膜收成純水清洗數次後	處理後	平均膜厚(毫米)	平均長度(公分)	平均寬度(公分)	平均面積(平方公分)
4天 1/20-1/23			0.71	24.09	25.98	885.57
5天 1/20-1/24			1.11	34.52	26.81	925.58
6天 1/20-1/25			1.71	34.67	36.23	909.69
7天 1/20-1/26			2.73	33.42	25.46	850.81

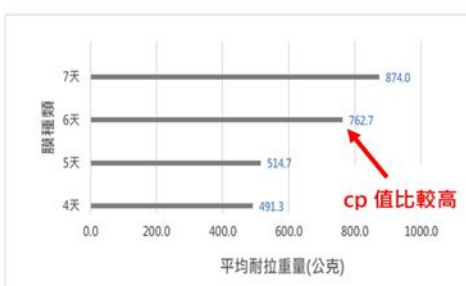
目的 五 菌膜耐水性、耐拉重性、耐候性、土壤可分解性？

研究構想：了解較友善環境的細菌纖維膜特性是否可利用做為水凝膠膜的替代薄膜、後續保存方法及是否可被土壤分解？

實驗步驟：詳見作品說明書

發酵天數	浸泡前(1/30/2023)	浸泡後(2/28/2023, 一個月)
4天	外觀	
	長*寬(公分)	33.32*25.53 / 34.09*25.98
	膜厚(毫米)	0.77 / 0.71
5天	外觀	
	長*寬(公分)	33.40*25.038 / 34.52*26.81
	膜厚(毫米)	1.84 / 1.11
6天	外觀	
	長*寬(公分)	36.54*24.82 / 37.84*26.23
	膜厚(毫米)	2.27 / 1.71
7天	外觀	
	長*寬(公分)	33.48*25.033 / 33.42*25.46
	膜厚(毫米)	2.75 / 2.73

發酵天數	耐拉(重)重量(g)	平均耐拉重量(g)
4天	1	323.4
	2	482.6
	3	668
5天	1	109.3
	2	783.5
	3	651.3
6天	1	651.3
	2	874.1
	3	手未放就斷
7天	1	1113.6
	2	753.5
	3	755



時間	吊掛前(1/30/2023)	吊掛位置	吊掛後(2/28/2023, 一個月)
照片			
外觀描述	菌膜剪成2*5公分，用釘書機固定在黑色不織布上。	與海藻酸鈣膜一起吊掛在通風不淋到雨的高處。	質地變硬乾，邊緣微捲曲，顏色變黃；發酵7天薄膜(膜最厚)表面積明顯縮小；發酵4天薄膜(膜最薄)明顯捲曲。

時間	掩埋前(1/30/2023)	掩埋位置	掩埋後(2/28/2023, 一個月)
照片			
外觀描述	海藻酸鈣膜剪成5*5公分，平放在5公分培養土上，上面再覆蓋5公分的培養土。(由左到右: 4天-7天)	放在走廊地板上，早上4小時全日照、全日散射光、通風、斜雨可澆到處。	全部分解，完全沒有殘餘的碎片。

目的 六 自製薄膜是否可取代土壤種植植物？

研究構想：拿自製的兩種薄膜取代土壤種植蔬菜，為後續結合食農教育農場預先做前導實驗。

實驗步驟：詳見作品說明書



黃豆

肆、結果與討論

		天數(日)								
生長記錄(cm)(平均高度)		1	3	5	7	9	11	13	15	
組別		加水80 毫升	加水20 毫升	加水40 毫升	加水40 毫升		加水20 毫升	加水20 毫升		
黃豆	對照組 水耕-黃豆	0.0	2.8	3.0	5.9	7.6	13.8	17.3	19.2	
	菌膜-4天	0.0	1.6	1.9	3.5	4.6	5.9	7.8	12.3	
	菌膜-5天	0.0	1.6	2.7	4.1	4.4	5.7	7.0	10.5	
	菌膜-6天	0.0	1.4	2.2	2.9	3.3	5.1	10.2	13.8	
	菌膜-7天	0.0	2.0	2.9	4.4	4.9	6.5	11.4	17.4	
	海藻酸鈣膜-250	0.0	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	0.0	0.0	
	海藻酸鈣膜-300	0.0	0.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	海藻酸鈣膜-350	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	海藻酸鈣膜-400	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	海藻酸鈣膜-450	0.0	1.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

目的二 添加海藻酸鈣容量對膜厚會有影響嗎？

海藻酸鈣加入量太少(250、300 毫升)，容易造成膜太薄(0.03 毫米)，脫膜及乾燥過程易破損；加入量太多(450 毫升)，易局部太厚成“水球”狀，延長乾燥時間。海藻酸鈣量愈多，厚度愈厚，面積收縮率變小，應該是膜厚度愈大有抑制收縮。

目的三 海藻酸鈣薄膜耐水性、耐拉重性、耐候性、土壤可分解性如何？

- 海藻酸鈣薄膜浸泡一個月後膜的大小尺寸沒有改變但表面變皺，乾燥後顏色稍微變黃且質地變較硬。
- 一開始測量，就發現添加250毫升海藻酸鈣的薄膜就能承受超過500克的拉力，導致需修改第一代裝置，後來第二代裝置順利量測添加海藻酸鈣比例與耐拉重量成正比。
- 耐候性測試，吊掛1個月發現只有邊緣稍微捲曲，整體形狀無破裂損傷；代表我們製做的海藻酸鈣薄膜可以保存1個月以上。
- 掩埋1個月後，發現可以部份分解；膜愈薄，愈易被分解；預測時間拉長3個月，可以完全分解，不對環境造成負擔。

目的四 發酵時間與菌膜厚度的關係

製造菌膜過程，發現避免菌膜厚不均可以緩慢倒入紅茶糖水，如果有氣泡需要撈掉，(我們也發現直接噴酒精可以消除表面的氣泡)以免菌膜底部因氣泡而凹凸不平。另外，因發酵過程產生二氧化碳，容易把舊菌膜往上頂，新菌膜更容易有空洞；所以我們改良成預先把舊膜剪成小塊，較不易累積氣泡。收成後菌膜的pH值是2.24，經過鹼處理中和再純水沖洗後達到8.5左右；另外參考自然課本中提及的真空食物保存法，以免菌膜發霉。

目的五 菌膜的耐水性、耐拉重性、耐候性、土壤可分解性如何？

- 因菌膜本身就具有高含水及保水性，所以菌膜可耐得住長時間泡水；收成時呈現黃色，經鹼中和後，呈黃色~淺褐色斑紋，純水清洗使膜的顏色變淡。
- 菌膜泡水1~2小時後水開始慢慢變黃，3天後就呈現均勻白色。浸泡1個月後量測尺寸及膜厚時，尺寸稍微變大。綜合以上觀察的兩點，我們更證明菌膜具有高保水高含水性，其多孔特性更可以讓水、顏色或其它特定物質通過。
- 菌膜的拉伸耐重490~875 公克；因取濕膜量測，另有加上砂紙增加摩擦力，方便量測。
- 菌膜吊掛1個月後，發現膜變薄、質地變乾且脆硬、邊緣微捲曲、顏色微黃，表面積縮小；外觀良好無破損。
- 發現菌膜在1個月內完全被分解(在1/30~2/28測試期間有下雨3天)；另外，我們也在旁邊的花盆放上直徑25公分厚度2公分的菌膜，不覆土直接曝露空氣中，觀察1/1~3/24共83天發現菌膜幾乎被分解掉80%。

目的六 自製薄膜是否可取代土壤種植植物？

在自製的薄膜上，每組放入5個已發出芽點的黃豆及小白菜觀察2/24~3/10共15天，每2天觀察其生長情形(對照組：水耕)。發現自製薄膜生長速度較慢，但其根系生長非常發達，為了吸收更多水份長出很多細根，並牢牢抓住薄膜表面。另發現粗根的豆類在種植時要注意根部倒伏並且需要在周圍固定薄膜。

目的七 模擬並結合學校食農教育的情形？

利用前實驗結果，取添加350、400 毫克海藻酸鈣的薄膜及發酵7天的菌膜種植了小白菜、黃豆、豌豆、羽衣甘藍觀察共15天；發現黃豆長高5~7公分、豌豆+羽衣甘藍13~17公分。另外，老師也帶著學弟妹到我們的實驗農場參觀種植成果，真的是為我們的長達6個月的實驗過程加入了滿滿的鼓勵。

伍、結論

目的二 添加海藻酸鈣容量對膜厚會有影響嗎？

利用預先覆上氯化鈣，再利用水平左右搖晃把膜從盤底分離。

目的三 海藻酸鈣薄膜耐水性、耐拉重性、耐候性、土壤可分解性如何？

- 添加250及300毫升海藻酸鈣的膜厚太薄，容易破損。
- 450毫升海藻酸鈣的濕膜容易局部厚度太厚。
- 選定厚度較均勻的350、400毫升海藻酸鈣薄膜性價比最高。
- 可浸泡1個月不變質，質地較硬脆，泡水後變軟可再次使用。
- 耐拉重可達2400~2480 公克。
- 耐候程度1個月可以大致不變形只有些微變皺變黃。
- 膜愈薄，愈易被分解；預測拉長至3個月，可以完全分解。

目的四 發酵時間與菌膜厚度的關係

透過①輕緩倒入紅茶水減少表面泡沫②噴酒精消泡③預先把舊菌膜剪小塊，使膜厚平均沒有空洞。④再用1 M氫氧化鈉清洗中和殘留醋酸及有機質，⑤純水反覆沖洗餘鹼，pH值從10.55~11.62降到8.5左右。⑥噴上酒精放入夾鏈袋中真空保存。

目的五 菌膜的耐水性、耐拉重性、耐候性、土壤可分解性如何？

- 可耐得住長時間泡水，浸泡3天後呈均勻白色。
- 耐拉重可達490~870 公克，發酵6~7天時間可達760~870公克，其CP值較高。
- 耐候程度：發酵7天菌膜，表面積變小；發酵4天菌膜，明顯捲曲。
- 將薄膜埋入5 公分深土中1個月發現全部分解。

目的六 自製薄膜是否可取代土壤種植植物？

自備薄膜長出了許多細根，並牢牢抓住薄膜表面，並發現兩種膜比較適合細根植物。

目的七 模擬並結合學校食農教育的情形？

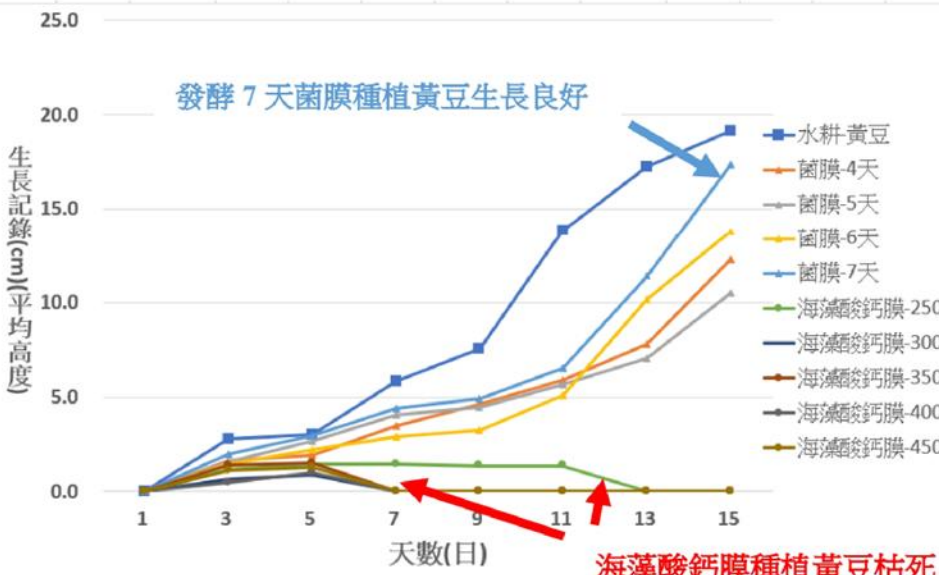
添加400 毫克海藻酸鈣的薄膜+黃豆及發酵7天菌膜+豌豆+羽衣甘藍成功抓根並長高到平均5~7及13~17公分；老師帶領學弟妹的參觀也真正融合科學研究與食農教育。

陸、結後心得及未來展望

未來薄膜可應用在種植生長期短的豆芽或生菜蔬菜，可提供自己學校供餐；也可種植小麥草供寵物貓食用。以下比較自製薄膜及水凝膠薄膜的差異及優缺點：

	膜範生機	薄膜農業
原料取得	化工行易購得，日常生活取材容易(海藻酸鈣、氯化鈣、紅茶水、菌種)	一般民眾不易購得(專利產品，目前需向日本購買)
製做過程及保存	3~7天，夾鏈袋保存可達6個月左右	專利技術，無法得知
製做成本	一般實驗室、家庭即可小規模製膜、便宜	工廠大批量製造、初期投入高
安全性	無明火、無激烈化學反應，安全	需使用大型機具生產
友善環境程度	種植完畢直接投入土壤完全分解	需移除及農業廢棄物處理
運用規模	裁剪適合大小直接覆蓋裝水淺盤即可	需事先理水管並覆蓋塑膠膜，再覆上水凝膠膜才能種植
適合作物	適合生長期短的豆類或細根植物(如：生食有機蔬菜)	目前以種植蕃茄、哈密瓜、小黃瓜、草莓、甜椒、各種葉菜類為主
運用範圍	家庭小型栽種、實驗教學	大型溫室種植、城市~沙漠均可

發酵7天菌膜種植黃豆生長良好

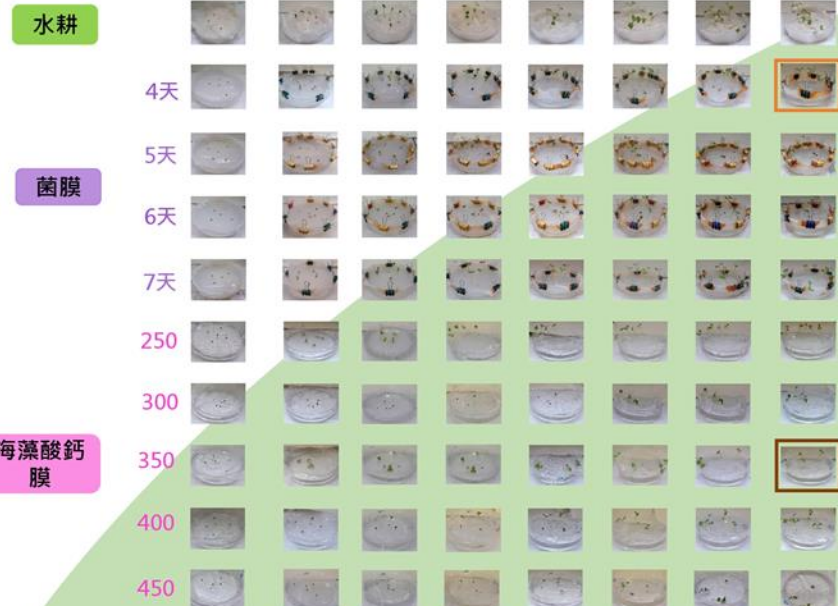
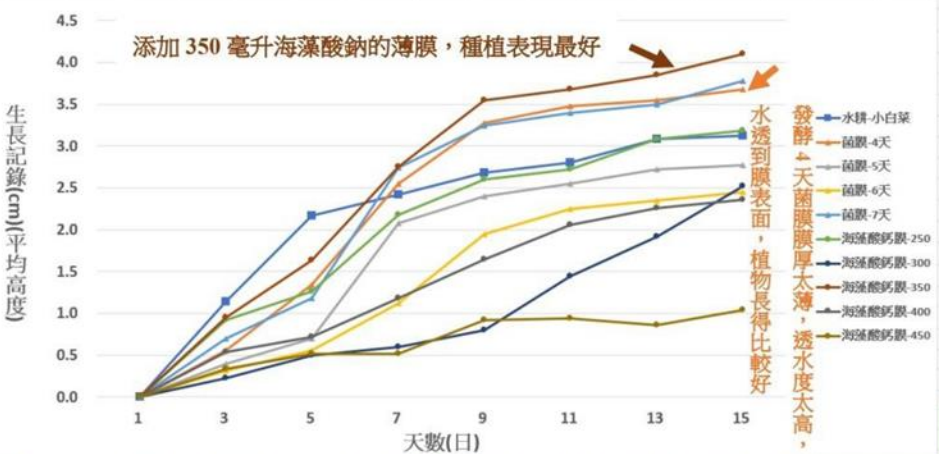


海藻酸鈣膜種植黃豆枯死



小白菜

		天數(日)								
生長記錄(cm)(平均高度)		1	3	5	7	9	11	13	15	
組別		加水80 毫升	加水20 毫升	加水40 毫升	加水40 毫升		加水20 毫升	加水20 毫升		
小白菜	對照組 水耕-小白菜	0.0	1.1	2.2	2.4	2.7	2.8	3.1	3.1	
	菌膜-4天	0.0	0.6	1.3	2.6	3.3	3.5	3.6	3.7	
	菌膜-5天	0.0	0.4	0.7	2.1	2.4	2.6	2.7	2.8	
	菌膜-6天	0.0	0.3	0.6	1.1	2.0	2.3	2.4	2.5	
	菌膜-7天	0.0	0.7	1.2	2.7	3.2	3.4	3.5	3.8	
	海藻酸鈣膜-250	0.0	0.9	1.3	2.2	2.6	2.7	3.1	3.2	
	海藻酸鈣膜-300	0.0	0.2	0.5	0.6	0.8	1.4	1.9	2.5	
	海藻酸鈣膜-350	0.0	1.0	1.6	2.8	3.6	3.7	3.9	4.1	
	海藻酸鈣膜-400	0.0	0.5	0.7	1.2	1.6	2.1	2.3	2.4	
	海藻酸鈣膜-450	0.0	0.3	0.5	0.5	0.9	0.9	0.9	1.0	



目的七 模擬並結合學校食農教育的情形？

研究構想：經過實驗室製造、測試及試種植物的過程，最後需要

實際利用在日常生活中；賦與作品從學術研究走入生活實際應用的價值。

實驗步驟：詳見作品說明書

